Encyclopédie de l'électrode de zirconium et de tungstène

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

PRÉSENTATION DE CTIA GROUP

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

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

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

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

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO2 Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

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
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Répertoire

Chapitre 1 : Introduction
1.1 Vue d'ensemble des électrodes en zirconium et tungstène
1.2 Histoire et développement des électrodes de zirconium et de tungstène
1.3 L'importance des électrodes en zirconium et tungstène dans l'industrie moderne

Chapitre 2 : Concepts de base des électrodes en zirconium et tungstène
2.1 Définition de l'électrode de zirconium et de tungstène
2.2 Composition chimique de l'électrode de zirconium et de tungstène
2.3 Comparaison de l'électrode de tungstène en zirconium avec d'autres électrodes de tungstène
2.4 Propriétés physiques et chimiques des électrodes de zirconium et de tungstène
2.4.1 Point de fusion et stabilité thermique
2.4.2 Conductivité électrique et thermique
2.4.3 Résistance à l'oxydation et à la corrosion
2.4.4 Propriétés mécaniques (dureté, ductilité, etc.)

Chapitre 3 : Grades d'électrodes de zinc-tungstène
3.1 Classification des grades d'électrodes de zirconium et de tungstène
3.1.1 Grades d'usage courant à l'international (p. ex. WZ3, WZ8)
3.1.2 Règles relatives à l'attribution d'une marque de commerce nationale
3.2 Différences dans la teneur en zirconium et le rendement de chaque grade
3.3 Sélection et scénarios d'application des grades d'électrodes de zirconium et de tungstène
3.4 Normalisation des grades d'électrodes de zirconium et de tungstène et comparaison internationale

Chapitre 4 : Caractéristiques des électrodes en zirconium et tungstène
4.1 Stabilité de l'arc des électrodes en zirconium et tungstène
4.2 Performances d'allumage et durée de vie de l'électrode de zirconium et de tungstène
4.3 Résistance aux brûlures et capacité anti-pollution de l'électrode de zirconium et de tungstène
4.4 Performances de l'électrode de zirconium et de tungstène dans différents environnements de soudage
4.4.1 Soudure en courant continu (DC)
4.4.2 Soudage AC (AC)
4.5 Propriétés thermodynamiques des électrodes de zirconium et de tungstène
4.6 Analyse de la microstructure des électrodes de zirconium et de tungstène
4.7 Électrode de zinc-tungstène MSDS de CTIA GROUP LTD

Chapitre 5 : Préparation et processus de production d'électrodes de zirconium et de tungstène
5.1 Préparation des matières premières pour les électrodes de zirconium et de tungstène
5.1.1 Sélection de la poudre de tungstène et des composés de zirconium
5.1.2 Pureté et prétraitement des matières premières
5.2 Procédé de métallurgie des poudres de l'électrode de zirconium et de tungstène

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

5.2.1 Mélange et broyage
5.2.2 Moulage par pressage
5.2.3 Processus de frittage
5.3 Technologie de moulage de l'électrode de zirconium et de tungstène
5.3.1 Emtirage et extrusion
5.3.2 Traitement thermique et recuit
5.4 Traitement de surface et polissage des électrodes de zirconium et de tungstène
5.5 Contrôle de la qualité et optimisation du processus des électrodes de zirconium et de tungstène

Chapitre 6 : Technologie de production d'électrodes en zirconium et tungstène
6.1 Technologie de dopage de l'électrode de zirconium et de tungstène
6.1.1 Méthode de dopage de l'oxyde de zirconium
6.1.2 Contrôle de l'uniformité du dopage
6.2 Technologie de frittage à haute température de l'électrode de zinc-tungstène
6.3 Technologie d'usinage de précision de l'électrode de zirconium et de tungstène
6.4 Automatisation et technologie de production intelligente des électrodes de zirconium et de tungstène
6.5 Technologie de production verte et de protection de l'environnement des électrodes de zirconium et de tungstène
6.6 Problèmes courants et solutions en production

Chapitre 7 : Utilisations des électrodes en zirconium et tungstène
7.1 Application de l'électrode de zirconium et de tungstène dans le soudage TIG
7.1.1 Soudage de l'aluminium et des alliages d'aluminium
7.1.2 Soudage de l'acier inoxydable et des alliages de magnésium
7.2 Application de l'électrode de zirconium et de tungstène dans la découpe et la pulvérisation au plasma
7.3 Autres applications industrielles des électrodes de zinc-tungstène
7.3.1 Aérospatiale
7.3.2 Industrie nucléaire
7.3.3 Fabrication d'instruments médicaux
7.4 Application de l'électrode de zinc-tungstène dans des environnements spéciaux
7.5 Solutions de rechange et analyse concurrentielle des électrodes de zirconium et de tungstène

Chapitre 8 : Équipement de production d'électrodes en zirconium et tungstène
8.1 Équipement de traitement des matières premières pour les électrodes de zirconium et de tungstène
8.1.1 Équipement de broyage et de mélange
8.1.2 Équipement de criblage et de nivellement
8.2 Équipement de pressage et de formage pour électrodes de tungstène de zirconium
8.2.1 Presse hydraulique et presse isostatique
8.2.2 Conception et fabrication du moule
8.3 Équipement de frittage et de traitement thermique pour les électrodes de zinc-tungstène

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

8.3.1 Four de frittage à haute température
8.3.2 Four de traitement thermique sous vide
8.4 Équipement de traitement de précision pour les électrodes de zirconium et de tungstène
8.4.1 Machine à dessiner et machine à découper
8.4.2 Équipement de polissage de surface
8.5 Équipement d'inspection de la qualité des électrodes de zinc-tungstène
8.6 Maintenance de l'équipement et optimisation des électrodes de zirconium et de tungstène

Chapitre 9 : Normes nationales et étrangères pour les électrodes en zirconium et tungstène
9.1 Normes internationales pour les électrodes de zirconium et de tungstène
9.1.1 Normes ISO (e.g. ISO 6848)
9.1.2 Normes AWS (telles qu'AWS A5.12)
9.2 Normes nationales pour les électrodes en zirconium et en tungstène
Norme 9.2.1 GB/T
9.2.2 Normes de l'industrie et normes d'entreprise
9.3 Contenu et exigences des normes d'électrode de zirconium et de tungstène
9.3.1 Exigences relatives à la composition chimique
9.3.2 Exigences de performance physique
9.3.3 Dimensions et tolérances
9.4 Comparaison et coordination des normes nationales et étrangères pour les électrodes de zirconium et de tungstène
9.5 Mises à jour et tendances de développement des normes d'électrodes de zirconium et de tungstène

Chapitre 10 : Méthodes de détection des électrodes de zirconium et de tungstène
10.1 Détection de la composition chimique des électrodes de zirconium et de tungstène
10.1.1 Analyse spectrale
10.1.2 Méthode de titrage chimique
10.2 Essais des propriétés physiques des électrodes de zirconium et de tungstène
10.2.1 Essai de dureté
10.2.2 Essai de densité et de porosité
10.3 Analyse de la microstructure des électrodes de zirconium et de tungstène
10.3.1 Microscopie électronique à balayage (MEB)
10.3.2 Diffraction des rayons X (DRX)
10.4 Test de performance de l'électrode de zirconium et de tungstène
10.4.1 Essai de stabilité de l'arc
10.4.2 Efficacité d'allumage et essai de durée de vie
10.5 Essai d'adaptabilité environnementale de l'électrode de zirconium et de tungstène
10.6 Étalonnage et normalisation de l'équipement d'essai des électrodes de zirconium et de tungstène
10.7 Problèmes courants et solutions dans la détection des électrodes de zirconium et de tungstène

Chapitre 11 : Tendance future du développement des électrodes de zinc-tungstène
11.1 Développement de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

11.2 Direction d'optimisation des performances de l'électrode de zirconium et de tungstène
11.3 Tendances de la production intelligente et automatisée
11.4 Fabrication écologique et développement durable
11.5 Le potentiel des électrodes de zirconium et de tungstène dans les champs émergents

Chapitre 12: Recyclage et réutilisation des électrodes de zirconium et de tungstène
12.1 Processus de recyclage des électrodes de rebut
12.2 Recyclage et valeur économique des matériaux en zirconium et tungstène
12.3 Spécifications de contrôle de la pollution et de protection de l'environnement dans le processus de recyclage
12.4 La situation actuelle et la tendance de développement du recyclage du zirconium et du tungstène au pays et à l'étranger

Appendice
A. Glossaire
B. Références

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 1 Introduction

1.1 Vue d'ensemble des électrodes de zirconium et de tungstène

L'électrode de tungstène en zirconium est un type d'électrode de tungstène dopée avec une petite quantité de zircone (ZrO_2) sous forme de matrice de tungstène) et est largement utilisée dans le soudage de protection sous gaz inerte de tungstène (soudage TIG), la découpe au plasma, la pulvérisation de plasma et d'autres scénarios industriels à haute température et à courant élevé. Les électrodes en zinc-tungstène sont devenues des matériaux indispensables dans le domaine du soudage et du coupage en raison de leur excellente stabilité de l'arc, de leurs performances d'allumage et de leur résistance à l'épuisement, en particulier dans le soudage à courant alternatif (AC), adapté au traitement des métaux légers tels que l'aluminium, le magnésium et leurs alliages.

La composition chimique des électrodes de tungstène de zirconium se compose principalement de tungstène de haute pureté (généralement d'une pureté supérieure à 99,5 %) et d'une petite quantité de zircone (généralement de 0,15 % à 0,8 %). Le dopage de la zircone améliore considérablement les performances des électrodes en tungstène, leur permettant de maintenir une capacité d'émission d'électrons stable et une longue durée de vie dans des environnements d'arc à haute température. Par rapport aux électrodes en tungstène pur, les électrodes en zirconium-tungstène ont un taux de brûlure des électrodes plus faible et des capacités antisalissure plus élevées, ce qui leur confère des avantages significatifs dans les scénarios avec des exigences de qualité de soudage extrêmement élevées. Par rapport à d'autres électrodes dopées telles que les électrodes de tungstène au thorium, de cérium-tungstène ou de tungstène de lanthane, les électrodes de tungstène de zirconium présentent une meilleure concentration d'arc et un risque plus faible de fusion de la pointe de l'électrode dans le soudage AC, ce qui les rend particulièrement adaptées au soudage de matériaux sensibles aux propriétés des électrodes, tels que les alliages d'aluminium.

Les électrodes en zirconium et tungstène commencent généralement par « WZ » suivi de chiffres indiquant la teneur en zircone, tels que WZ3 (avec 0,3 % de zircone) et WZ8 (avec 0,8 % de zircone). Les différences de performance entre ces grades se reflètent principalement dans la stabilité de l'arc, les performances d'allumage et la durée de vie, en fonction du courant de soudage, du type de matériau et des exigences du processus. Les propriétés physiques des électrodes en zirconium et tungstène comprennent un point de fusion élevé (environ 3422 °C, proche du tungstène pur), une bonne conductivité électrique et thermique et une excellente résistance à l'oxydation et à la corrosion. Ces caractéristiques lui permettent de maintenir des performances constantes dans des conditions extrêmes, ce qui le rend idéal pour le soudage et le découpage de haute précision.

Le processus de production des électrodes en zirconium et tungstène implique plusieurs étapes telles que la métallurgie des poudres, le dopage, le frittage, l'emboutissage et le traitement de surface. La complexité du processus de production nécessite un équipement de haute précision et un contrôle de qualité strict pour garantir l'uniformité de la composition chimique des électrodes et la stabilité de la microstructure. Ces dernières années, avec le développement de la fabrication verte et de la technologie de production intelligente, le processus de production des électrodes en zirconium et en tungstène a été continuellement optimisé et la qualité et la cohérence du produit ont été

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

considérablement améliorées.

1.2 Histoire et développement des électrodes en zirconium et tungstène

L'histoire du développement et de l'application des électrodes en zirconium et tungstène remonte au milieu du 20e siècle, lorsque la technologie de soudage s'est développée rapidement avec les progrès de l'industrialisation. Le soudage sous gaz inerte au tungstène (soudage TIG) a progressivement mûri dans les années 40 du 20e siècle et utilisait initialement principalement des électrodes en tungstène pur. Cependant, les électrodes en tungstène pur présentent des problèmes tels que l'instabilité de l'arc, les difficultés d'allumage et l'épuisement sévère des électrodes dans le soudage AC, limitant leur application dans les scénarios de forte demande. Pour résoudre ces problèmes, les chercheurs ont commencé à explorer les oxydes dopants dans les substrats de tungstène afin d'améliorer leurs propriétés.

Dans les années 50 du 20e siècle, la zircone a été introduite dans la fabrication d'électrodes en tungstène en tant que matériau frelaté. La zircone présente les caractéristiques d'un point de fusion élevé, d'une résistance à haute température et d'une stabilité chimique, ce qui peut améliorer efficacement la capacité d'émission d'électrons et la résistance à l'épuisement des électrodes en tungstène. Les premières électrodes en zirconium et tungstène étaient principalement utilisées pour des applications expérimentales, et leur processus de production était relativement approximatif, et l'uniformité du dopage et la stabilité de la qualité des électrodes étaient médiocres. Avec les progrès de la technologie de la métallurgie des poudres et de la technologie de frittage à haute température, les performances des électrodes de zirconium et de tungstène ont été considérablement améliorées dans les années 60 du 20e siècle, et ont progressivement été acceptées par l'industrie et largement utilisées dans le soudage des alliages d'aluminium et de magnésium.

Dans les années 70 du 20e siècle, l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et l'American Welding Society (AWS) ont commencé à formuler des normes pertinentes pour les électrodes de tungstène, y compris la composition chimique, les exigences de performance et la classification de qualité des électrodes de tungstène de zirconium. L'introduction de ces normes a favorisé la production normalisée et l'application mondiale d'électrodes de zirconium et de tungstène. Au cours de la même période, le système de nuances des électrodes en zirconium et en tungstène a été progressivement amélioré, et des nuances telles que WZ3 et WZ8 sont devenues le courant dominant, et leurs différences de performance ont été systématiquement étudiées et appliquées à différents scénarios de soudage.

Au 21e siècle, avec le développement rapide de domaines de haute technologie tels que l'aérospatiale, l'industrie nucléaire et la fabrication d'équipements médicaux, le champ d'application des électrodes en zirconium et en tungstène s'est encore élargi. La production d'électrodes modernes en zirconium et en tungstène a été hautement automatisée, à l'aide d'une technologie de dopage avancée et d'équipements de traitement de précision pour garantir une cohérence et une fiabilité élevées des électrodes. Dans le même temps, l'introduction de concepts de fabrication écologiques a favorisé l'optimisation environnementale dans le processus de production, comme la réduction des émissions de déchets et l'amélioration de l'utilisation des matières premières.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Ces dernières années, la recherche et le développement d'électrodes en zirconium et tungstène se sont orientés vers l'optimisation des performances et la multifonctionnalité. Par exemple, en réponse à la demande de soudage AC à courant élevé, les chercheurs ont mis au point de nouvelles formulations d'électrodes en zirconium et en tungstène pour améliorer encore la concentration de l'arc et la durée de vie de l'électrode. En outre, l'application de la nanotechnologie dans la production d'électrodes de zirconium et de tungstène est également devenue un point chaud de la recherche, et le dopage de particules de zircone à l'échelle nanométrique peut améliorer considérablement la microstructure et les performances des électrodes.

1.3 L'importance des électrodes en zirconium et tungstène dans l'industrie moderne

Les électrodes en zirconium et tungstène jouent un rôle crucial dans l'industrie moderne, en particulier dans le domaine du soudage et du découpage de haute précision. Son importance se reflète principalement dans les aspects suivants :

Tout d'abord, l'application d'une électrode de zirconium et de tungstène dans le soudage TIG améliore considérablement la qualité et l'efficacité du soudage. Le soudage TIG est largement utilisé dans les industries de l'aérospatiale, de la construction automobile et de la construction navale en raison de sa haute précision, de son absence d'éclaboussures et de sa large applicabilité. Les électrodes en zirconium et tungstène présentent une excellente stabilité de l'arc dans le soudage AC, réduisant efficacement la dérive de l'arc et les défauts de soudage, et sont particulièrement adaptées au soudage de métaux légers tels que l'aluminium et le magnésium et leurs alliages. Ces matériaux sont largement utilisés dans le domaine de l'aérospatiale (tels que le fuselage d'avion, les composants de moteurs) et l'industrie automobile (tels que les corps en alliage d'aluminium), et les performances stables des électrodes en zirconium et en tungstène offrent une garantie fiable pour ces industries.

Deuxièmement, l'application d'électrodes de tungstène de zirconium dans la découpe plasma et la pulvérisation augmente encore leur valeur industrielle. La découpe plasma exige que l'électrode reste stable dans des environnements à haute température et à courant élevé, et la résistance à l'épuisement et la longue durée de vie des électrodes en zirconium et tungstène en font des choix idéaux. Dans la pulvérisation plasma, les électrodes en zirconium-tungstène fournissent un arc plasma stable pour assurer la qualité et l'uniformité du revêtement, ce qui est particulièrement important dans les revêtements d'aubes de moteurs d'avion et la préparation des matériaux résistants à l'usure.

En outre, les électrodes en zirconium et en tungstène ont également des applications importantes dans des domaines de haute technologie tels que l'industrie nucléaire et la fabrication de dispositifs médicaux. Dans l'industrie nucléaire, les électrodes en zirconium-tungstène sont utilisées pour souder des composants clés des réacteurs nucléaires, et leur fiabilité et leur résistance à la corrosion élevées peuvent répondre aux exigences d'environnements extrêmes. Dans la fabrication de dispositifs médicaux, les électrodes en zirconium-tungstène sont utilisées pour produire des composants de haute précision tels que des appareils à rayons X et des instruments chirurgicaux, et leurs excellentes performances garantissent la stabilité et la sécurité à long terme de l'équipement.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

La large application des électrodes en zirconium et en tungstène a également favorisé le développement de chaînes industrielles connexes. Par exemple, la production d'électrodes de zirconium et de tungstène a favorisé le développement de l'extraction du minerai de tungstène, la fabrication d'équipements de métallurgie des poudres et la technologie d'inspection de la qualité. Dans le même temps, sa production standardisée et son commerce international favorisent la collaboration et les échanges techniques dans l'industrie mondiale du soudage.

À l'avenir, avec le développement de la fabrication intelligente et de la technologie de production verte, les performances et les domaines d'application des électrodes en zirconium-tungstène devraient continuer à se développer. Par exemple, dans le domaine des nouvelles énergies (comme la fabrication d'équipements éoliens et solaires) et de la technologie d'impression 3D, les applications potentielles des électrodes de zirconium et de tungstène sont explorées. Les exigences en matière de propriétés des matériaux et de précision de processus dans ces domaines émergents souligneront davantage l'importance des électrodes en zirconium-tungstène.
En résumé, les électrodes en zirconium-tungstène, en tant que matériau de soudage et de découpe haute performance, occupent une position importante dans l'industrie moderne grâce à leur excellente stabilité à l'arc, leur résistance à l'épuisement et leur large applicabilité. Ses progrès technologiques continus et l'expansion de ses applications continueront de stimuler l'innovation et le développement dans la fabrication industrielle.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO2 Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

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
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 2 Concepts de base des électrodes de zinc-tungstène

2.1 Définition de l'électrode de zirconium et de tungstène

L'électrode de tungstène en zirconium est un matériau d'électrode non consommable dopé avec une petite quantité de zircone (ZrO_2) à base de tungstène de haute pureté, qui est principalement utilisé dans des applications industrielles à haute température et à courant élevé telles que le soudage sous gaz inerte au tungstène (soudage TIG), la découpe au plasma et la pulvérisation au plasma. En ajoutant de la zircone à la matrice de tungstène, les électrodes de tungstène de zirconium améliorent considérablement la stabilité de l'arc, les performances d'allumage et la résistance à l'épuisement des électrodes, ce qui les rend excellentes pour le soudage en courant alternatif (AC), en particulier pour le soudage de métaux légers tels que l'aluminium, le magnésium et leurs alliages.

Selon les normes internationales telles que ISO 6848 et AWS A5.12, les électrodes de tungstène de zirconium sont définies comme des électrodes en alliage de tungstène contenant une proportion spécifique de zircone (généralement de 0,15 % à 0,8 %), avec des grades commençant par « WZ », tels que WZ3 (0,3 % de zircone) et WZ8 (0,8 % de zircone). Ces électrodes sont fabriquées à l'aide de techniques de métallurgie des poudres pour doper uniformément la zircone dans une matrice de tungstène afin d'optimiser leurs performances à haute température et leurs propriétés électriques. La fonction principale des électrodes en zirconium et tungstène est de servir d'électrodes non consommables dans le soudage à l'arc ou le coupage, fournissant un arc stable et maintenant une longue durée de vie tout en évitant la contamination de la soudure.

Les électrodes en zinc-tungstène sont conçues pour compenser les défauts des électrodes en tungstène pur dans le soudage AC, tels que l'instabilité de l'arc et l'épuisement prématuré de la pointe de l'électrode. Par rapport à d'autres électrodes dopées, telles que les électrodes de tungstène de thorium ou de tungstène de cérium, les électrodes de tungstène de zirconium offrent des avantages uniques dans le soudage AC en raison de leur forte concentration d'arc, ce qui les rend adaptées aux processus de soudage de haute précision. De plus, les électrodes en zirconium et en tungstène ne contiennent pas d'éléments radioactifs, ce qui les rend plus respectueuses de l'environnement que les électrodes en thorium-tungstène, répondant ainsi aux exigences de sécurité et de durabilité de l'industrie moderne.

2.2 Composition chimique de l'électrode de zirconium et de tungstène

La composition chimique des électrodes de zirconium et de tungstène est principalement composée de tungstène de haute pureté (W) et dopée avec une petite quantité de zircone (ZrO_2) comme améliorateur de performance. La pureté du tungstène doit généralement être supérieure à 99,5 % pour assurer la stabilité de l'électrode dans des environnements à haute température et à courant élevé. Le taux de dopage de la zircone varie en fonction du grade de l'électrode, allant généralement de 0,15 % à 0,8 %, comme le WZ3 (0,3 % de ZrO_2) et le WZ8 (0,8 % de ZrO_2). En plus du tungstène et de la zircone, les électrodes de tungstène de zirconium peuvent contenir des traces d'impuretés (telles que le fer, le silicium, le carbone, etc.), mais la teneur de ces impuretés doit être strictement contrôlée dans la plage spécifiée par les normes internationales (généralement inférieure à 0,05 %) pour éviter d'affecter les performances de l'électrode.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

L'ajout de zircone est la clé de l'amélioration des performances des électrodes de zirconium et de tungstène. La zircone est un oxyde avec un point de fusion élevé (environ 2715°C) et une forte stabilité chimique, qui peut former de minuscules particules uniformément réparties dans la matrice de tungstène. Ces particules améliorent considérablement la stabilité de l'arc et la résistance à l'épuisement de l'électrode en modifiant la structure cristalline et les caractéristiques d'émission d'électrons du tungstène. Le taux de dopage de la zircone affecte directement les performances de l'électrode : des niveaux de dopage inférieurs (tels que WZ3) conviennent au soudage AC avec des courants moyens, tandis que des niveaux de dopage plus élevés (tels que WZ8) sont plus adaptés aux courants élevés et aux scénarios avec des exigences de concentration d'arc élevées.

La composition chimique des électrodes de zirconium et de tungstène est contrôlée pendant la production grâce à des ratios précis de matières premières et à des processus de dopage. La matière première de tungstène couramment utilisée dans la production est la poudre de tungstène de haute pureté, et la zircone est généralement ajoutée sous forme de poudre ou de solution de haute pureté. Le processus de dopage doit assurer la distribution uniforme des particules de zircone dans la matrice de tungstène et éviter l'agrégation ou la ségrégation locale pour assurer la cohérence des performances de l'électrode. Les techniques de production modernes peuvent également introduire des traces d'autres additifs, tels que les oxydes de terres rares, afin d'optimiser davantage les performances, mais l'utilisation de ces additifs doit être conforme aux normes pertinentes et aux exigences de l'industrie.

2.3 Comparaison de l'électrode de zirconium et de tungstène avec d'autres électrodes de tungstène

En tant que membre de la famille des électrodes en tungstène, les électrodes en zirconium et en tungstène sont très différentes des autres types d'électrodes en tungstène telles que les électrodes en tungstène pur, les électrodes en tungstène thorié, les électrodes en cérium et en tungstène lanthané en termes de performances, d'utilisations et de scénarios applicables.

Ce qui suit est une comparaison des caractéristiques de l'électrode de tungstène de zirconium et d'autres électrodes de tungstène de plusieurs dimensions :

Électrode de tungstène pur (WP)

L'électrode de tungstène pur est composée de plus de 99,95 % de tungstène de haute pureté sans aucun dopage à l'oxyde. Ses avantages sont une stabilité chimique élevée, une non-radioactivité et une adaptation au soudage en courant continu (DC) à faible courant. Cependant, les électrodes en tungstène pur ont une faible stabilité de l'arc et de faibles performances d'allumage dans le soudage AC, et la pointe de l'électrode est sujette à la surchauffe et à l'épuisement, ce qui entraîne une courte durée de vie. En revanche, les électrodes en zirconium-tungstène améliorent considérablement la stabilité de l'arc et les performances d'allumage dans le soudage AC grâce au dopage à la zircone, ce qui les rend particulièrement adaptées au soudage des alliages d'aluminium et de magnésium.

Électrode de tungstène au thorium (WT20)

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

L'électrode de tungstène au thorium est dopée avec 1,5 % à 2,0 % d'oxyde de thorium (ThO_2), qui a d'excellentes performances d'allumage et une stabilité d'arc, et est largement utilisé dans le soudage CC. Cependant, l'oxyde de thorium est légèrement radioactif, présente des risques potentiels pour la santé et l'environnement, et est moins concentré en arc que les électrodes de zirconium et de tungstène dans le soudage AC. Les électrodes en zirconium et tungstène sont non radioactives, plus respectueuses de l'environnement et présentent un meilleur contrôle de l'arc dans le soudage AC, ce qui les rend adaptées au soudage de haute précision.

Électrode de tungstène de cérium (WC20)

L'électrode de cérium et de tungstène est dopée avec environ 2,0 % d'oxyde de cérium (CeO_2), qui a d'excellentes performances d'allumage et convient au soudage CC et CA à faible courant. Par rapport aux électrodes en zirconium-tungstène, les électrodes en cérium-tungstène ont une stabilité d'arc légèrement inférieure dans le soudage AC à courant élevé et ont une durée de vie des électrodes légèrement plus courte. Les électrodes en zirconium et tungstène ont une résistance à l'épuisement et une concentration d'arc plus fortes dans le soudage AC, ce qui les rend adaptées aux scénarios de forte demande.

Électrode de tungstène de lanthane (WL15, WL20)

L'électrode de tungstène de lanthane est dopée avec 1,0 % à 2,0 % d'oxyde de lanthane (La_2O_3), qui a de bonnes performances d'allumage et une longue durée de vie, et convient au soudage DC et AC. Par rapport aux électrodes de tungstène de zirconium, les électrodes de tungstène de lanthane ont de meilleures performances dans le soudage DC, mais la concentration de l'arc est légèrement inférieure à celle des électrodes de tungstène de zirconium dans le soudage AC, en particulier lors du soudage d'alliages d'aluminium, la capacité de contrôle de l'arc des électrodes de tungstène de zirconium est plus forte.

En résumé, les électrodes de tungstène de zirconium présentent des avantages uniques dans le soudage AC, en particulier lors du soudage de métaux légers tels que l'aluminium et le magnésium. Ses caractéristiques non radioactives et respectueuses de l'environnement lui permettent de remplacer progressivement les électrodes en thorium et tungstène dans l'industrie moderne et de devenir l'électrode privilégiée pour le soudage de haute précision. Cependant, dans les scénarios de soudage DC ou à faible courant, les électrodes de tungstène de cérium ou de tungstène de lanthane peuvent être plus avantageuses. La sélection des électrodes doit être examinée de manière exhaustive en fonction du processus spécifique, du type de courant et des exigences matérielles.

2.4 Propriétés physiques et chimiques des électrodes de zirconium et de tungstène

Les propriétés physiques et chimiques des électrodes de tungstène de zirconium sont à la base de leurs excellentes performances dans des environnements à haute température et à courant élevé. Ce qui suit est une analyse détaillée sous quatre aspects : le point de fusion et la stabilité thermique, la conductivité électrique et thermique, la résistance à l'oxydation et à la corrosion, et les propriétés mécaniques.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

2.4.1 Point de fusion et stabilité thermique

Les électrodes en zinc-tungstène héritent des caractéristiques de point de fusion élevé du tungstène, avec un point de fusion d'environ 3422 °C (le point de fusion du tungstène pur), qui est l'un des plus élevés parmi les matériaux métalliques connus. Bien que le dopage de la zircone (point de fusion d'environ 2715°C) réduise légèrement le point de fusion théorique de la matrice de tungstène, l'électrode de tungstène en zirconium peut toujours maintenir une stabilité structurelle dans un environnement d'arc allant jusqu'à 6000°C dans des applications pratiques. Les particules de zircone forment une phase dispersée stable dans la matrice de tungstène, ce qui peut inhiber efficacement la croissance des grains et la déformation à haute température, améliorant ainsi la stabilité thermique de l'électrode.

En soudage TIG ou en découpe plasma, les électrodes en zirconium et tungstène sont soumises à des températures élevées (environ 6000°C à 7000°C) générées par l'arc. Son excellente stabilité thermique lui permet de maintenir la forme de la pointe en cas de fonctionnement prolongé à courant élevé, réduisant ainsi l'épuisement et la fusion. Par rapport aux électrodes en tungstène pur, les électrodes en zirconium et en tungstène ont une meilleure stabilité thermique dans le soudage AC, en particulier dans les arcs AC commutés à haute fréquence, qui peuvent maintenir des émissions d'électrons stables.

2.4.2 Conductivité électrique et thermique

Les électrodes en zirconium et en tungstène ont une bonne conductivité électrique et thermique, ce qui est étroitement lié aux propriétés de leur matrice de tungstène. La conductivité du tungstène est de $1,82\times10^7$ S/m et la conductivité thermique est d'environ 173 W/(m·K) (à température ambiante). Le dopage de la zircone a peu d'effet sur la conductivité électrique et thermique, mais dans le soudage AC à courant élevé, la conductivité des électrodes de zirconium et de tungstène assure une formation d'arc stable et un transfert d'énergie.

La conductivité thermique est essentielle aux performances de l'électrode. Pendant le processus de soudage, la pointe de l'électrode est soumise à des températures élevées et une bonne conductivité thermique peut rapidement conduire la chaleur de la pointe vers d'autres parties de l'électrode, évitant ainsi la surchauffe locale et l'épuisement. La conductivité thermique des électrodes en zirconium-tungstène leur permet de maintenir des températures de pointe basses et de prolonger leur durée de vie lors du soudage AC à courant élevé.

2.4.3 Résistance à l'oxydation et à la corrosion

La résistance à l'oxydation et à la corrosion des électrodes de zirconium et de tungstène dans des environnements à haute température sont des avantages importants. Le tungstène lui-même a tendance à réagir avec l'oxygène à haute température pour former des oxydes volatils (tels que WO_3), ce qui entraîne l'épuisement des électrodes. Le dopage de la zircone améliore considérablement la résistance à l'oxydation de l'électrode en formant une couche d'oxyde stable. Les particules de zircone forment une couche protectrice à la surface de l'électrode, ce qui ralentit la vitesse de réaction entre le tungstène et l'oxygène, de sorte que l'électrode de tungstène en zirconium peut toujours maintenir une longue durée de vie dans l'atmosphère oxydante.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

En termes de résistance à la corrosion, les électrodes de zirconium et de tungstène présentent une bonne stabilité contre les produits chimiques présents dans les environnements de soudage courants, tels que les gaz inertes, les vapeurs métalliques. En particulier dans le soudage des alliages d'aluminium, les électrodes de zirconium et de tungstène peuvent résister aux effets des oxydes d'aluminium et d'autres contaminants, réduisant ainsi la contamination et la dégradation des performances à l'extrémité de l'électrode.

2.4.4 Propriétés mécaniques (dureté, ductilité, etc.)

Les propriétés mécaniques des électrodes en zirconium et tungstène comprennent une dureté élevée, une ductilité modérée et une bonne résistance à la rupture. La dureté du tungstène (dureté Vickers d'environ 350-400 HV) confère aux électrodes de zirconium et de tungstène une excellente résistance à l'usure et à la déformation, ce qui leur permet de maintenir leur intégrité structurelle sous des vibrations à haute fréquence et des contraintes mécaniques. Le dopage de la zircone augmente légèrement la dureté de l'électrode tout en améliorant sa résistance à la rupture fragile.

Au cours du processus de production, les électrodes en zirconium et tungstène sont étirées et traitées thermiquement pour obtenir une ductilité modérée, ce qui leur permet d'être transformées en tiges d'électrode de différents diamètres (par exemple, 1,0 mm à 6,4 mm) et longueurs. L'optimisation de la ductilité garantit que l'électrode n'est pas sujette aux fissures ou aux ruptures lors du traitement et de l'utilisation. De plus, la résistance à la fatigue des électrodes en zirconium-tungstène leur permet de résister à des contraintes thermiques et mécaniques répétées dans des arcs alternatifs à haute fréquence, prolongeant ainsi leur durée de vie.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO2 Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

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
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 3 Grades d' électrodes de zinc-tungstène

3.1 Classification des grades d'électrodes de zirconium et de tungstène

La classification des électrodes en zirconium et tungstène est basée sur leur teneur en zircone (ZrO_2) et leurs caractéristiques de performance, dans le but de fournir une sélection standardisée d'électrodes pour différents processus de soudage et de découpe. La classification des grades facilite non seulement l'identification lors de la production et de l'application, mais fournit également aux utilisateurs des conseils clairs sur les performances. Les marchés internationaux et nationaux utilisent des conventions de dénomination normalisées pour assurer la compatibilité et l'uniformité des électrodes de zirconium et de tungstène dans le monde entier.

3.1.1 Grades internationaux couramment utilisés (par exemple WZ3, WZ8)

À l'échelle internationale, les électrodes en zirconium et en tungstène suivent généralement les normes de l'Organisation internationale de normalisation (ISO 6848) et de l'American Welding Society (AWS A5.12), en commençant par « WZ » suivi d'un chiffre indiquant le pourcentage en poids approximatif de zircone (en 0,1 %). Les grades internationaux les plus courants comprennent le WZ3 et le WZ8, qui indiquent une teneur en zircone de 0,3 % et 0,8 %, respectivement. Ces grades sont largement utilisés dans l'industrie mondiale du soudage, en particulier sur les marchés européen et américain.

WZ3 (0,15 % à 0,4 % ZrO_2) : Le WZ3 est une nuance avec une teneur en zircone plus faible dans les électrodes de zirconium et de tungstène et est couramment utilisée pour le soudage en courant alternatif (CA) à courants moyens. Il se caractérise par une bonne stabilité de l'arc et d'excellentes performances d'allumage, ce qui le rend adapté au soudage de métaux légers tels que l'aluminium, le magnésium et leurs alliages. L'électrode WZ3 a une résistance modérée à l'épuisement, ce qui la rend adaptée aux scénarios où la durée de vie de l'électrode n'est pas trop élevée, comme les opérations de soudage à petite échelle ou le soudage AC à basse fréquence.

WZ8 (0,7 % à 0,9 % de ZrO_2) : Le WZ8 contient une proportion plus élevée de zircone et est conçu pour le soudage AC à courant élevé. Sa concentration d'arc est plus forte et sa résistance à l'épuisement est meilleure que celle du WZ3, ce qui le rend adapté aux scénarios nécessitant des soudures de haute précision et de haute qualité, tels que la fabrication de composants aérospatiaux et d'équipements de l'industrie nucléaire. Les électrodes WZ8 excellent dans l'arc alternatif à haute fréquence, en maintenant une forme d'arc stable et une longue durée de vie.

En plus du WZ3 et du WZ8, d'autres grades non standard peuvent être développés dans certains pays et régions en fonction de besoins spécifiques, mais le champ d'utilisation de ces grades est étroit, généralement limité à des industries spécifiques ou à des applications personnalisées. Les normes internationales spécifient également l'identification des couleurs des électrodes en zirconium et tungstène, WZ3 et WZ8 sont généralement marquées en brun et blanc (pointe ou revêtement d'électrode entière) pour une identification facile sur le terrain.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

3.1.2 Règles relatives à l'appellation des marques nationales

En Chine, la dénomination des électrodes de zirconium et de tungstène suit principalement les normes nationales (normes GB / T), telles que GB / T 4187-2017 « Électrodes de tungstène ». La dénomination de qualité nationale est similaire aux normes internationales, commençant généralement par « WZ » suivi d'un chiffre indiquant la teneur en zircone, mais peut également être élargie en fonction des besoins de l'entreprise ou de l'industrie. Les grades nationaux courants incluent WZ3 et WZ8, qui sont conformes aux normes internationales, mais certaines entreprises peuvent utiliser des noms personnalisés, tels que « WZr-3 » ou « WZr-8 », qui ont la même signification que les grades internationaux.

Les règles de dénomination des grades nationaux peuvent également être complétées en combinaison avec l'objectif ou le rendement des électrodes. Par exemple, certaines entreprises ajouteront des lettres ou des chiffres après le grade pour indiquer le processus de traitement spécifique ou le scénario d'application de l'électrode, comme « WZ8-H » pour l'usinage de haute précision de l'électrode WZ8. Les normes nationales stipulent clairement la composition chimique, les tolérances dimensionnelles et les exigences de performance des électrodes en zirconium-tungstène, garantissant qu'elles sont conformes aux normes internationales.

Par rapport au marché international, l'appellation de marque nationale accorde plus d'attention aux applications localisées, en particulier dans les petites et moyennes entreprises de soudage et la fabrication d'équipements non standard, il peut exister des méthodes de dénomination non standardisées. Ces méthodes de dénomination sont généralement personnalisées par les fabricants en fonction des besoins du client, mais la référence globale reste la norme GB/T pour garantir la qualité et la cohérence du produit.

3.2 Différences de teneur en zirconium et de performance de chaque grade

La différence de performance de l'électrode de zirconium et de tungstène est principalement due à la différence de teneur en zircone. En tant que dopant, la zircone affecte considérablement la stabilité de l'arc, les performances d'allumage, la résistance à l'épuisement et la durée de vie de l'électrode en modifiant la microstructure et les caractéristiques d'émission d'électrons de la matrice de tungstène. Voici une analyse détaillée des différences de teneur et de performance en zirconium entre les grades WZ3 et WZ8 :

Les électrodes WZ3 (0,15 % à 0,4 % de ZrO_2) ont une faible teneur en zircone et conviennent au soudage AC à des courants moyens (50 à 150 A). Ses principales caractéristiques de performance sont les suivantes :

Stabilité de l'arc : le WZ3 fournit un arc stable dans le soudage AC avec moins de dérive d'arc, ce qui le rend adapté au soudage de tôles minces d'aluminium ou d'alliages de magnésium.
Performance d'allumage : La faible teneur en zircone fait que le WZ3 a un faible travail d'échappement d'électrons lors de l'allumage, et il est plus facile de démarrer l'arc.
Capacité de résistance à la brûlure : Par rapport aux électrodes en tungstène pur, le WZ3 a une résistance à la brûlure améliorée, mais peut subir une légère brûlure à l'extrémité de l'électrode lors

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

de courants élevés ou de soudures prolongées.
Durée de vie : Le WZ3 a une durée de vie modérée, ce qui le rend adapté aux tâches de soudage de petite à moyenne taille, mais il a une durée de vie légèrement plus courte que le WZ8 en soudage à courant élevé ou à haute fréquence.
Microstructure : Le WZ3 présente une distribution clairsemée de particules de zircone et une grande taille de grain, ce qui le rend adapté aux environnements de soudage de moyenne intensité.

Les électrodes WZ8 WZ8 (0,7 % à 0,9 % ZrO_2) ont une teneur élevée en zircone et sont conçues pour le soudage AC à courant élevé (150 à 400 A), avec des caractéristiques de performance telles que :

Stabilité de l'arc : La concentration de l'arc du WZ8 est extrêmement forte et la forme de l'arc est stable, ce qui le rend adapté au soudage de haute précision, tel que le soudage TIG pour les composants aérospatiaux.
Performance d'allumage : La teneur élevée en zircone réduit encore le travail d'échappement d'électrons, ce qui confère au WZ8 d'excellentes performances d'allumage dans les arcs alternatifs à haute fréquence.
Capacités de résistance à la brûlure : La résistance à la brûlure du WZ8 est nettement meilleure que celle du WZ3, maintenant la forme de la pointe dans des environnements à courant élevé et à haute température, réduisant la fusion ou la fissuration.
Durée de vie : Le WZ8 a une durée de vie plus longue, ce qui le rend adapté aux tâches de soudage à long terme et de haute intensité.
Microstructure : WZ8 a des particules de zircone plus denses, une taille de grain plus petite et une microstructure plus uniforme, améliorant la résistance à haute température de l'électrode.

Dans certaines applications spéciales, des grades non standard peuvent être disponibles, tels que des électrodes de tungstène de zirconium contenant 0,5 % ou 1,0 % de zircone. Ces grades sont généralement des produits personnalisés avec des performances comprises entre WZ3 et WZ8, adaptés aux besoins spécifiques de l'industrie, tels que la découpe plasma de haute précision ou le soudage d'alliages spéciaux.

Une teneur accrue en zircone améliore généralement la stabilité de l'arc et la résistance à l'épuisement de l'électrode, mais un dopage trop élevé peut entraîner une augmentation de la fragilité de l'électrode ou une augmentation de la difficulté de traitement. Par conséquent, la teneur en zircone de WZ3 et WZ8 est considérée comme le meilleur équilibre entre performances et coût, répondant à la plupart des besoins industriels.

3.3 Sélection et scénarios d'application des grades d'électrodes de zirconium tungstène

Le choix de la nuance des électrodes en zirconium et tungstène a un impact direct sur la qualité, l'efficacité et le coût du soudage. Ce qui suit analyse l'applicabilité du WZ3 et du WZ8 du point de vue des scénarios d'application, des procédés de soudage et des types de matériaux :

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Scénarios d'application de WZ3

Matériaux de soudure : WZ3 convient au soudage de l'aluminium, du magnésium et de leurs alliages, en particulier dans le soudage de plaques minces (comme les plaques en alliage d'aluminium d'une épaisseur inférieure à 3 mm). Sa stabilité à l'arc réduit les défauts de soudure, ce qui le rend adapté aux scénarios avec des exigences élevées en matière de qualité de surface.

Gamme de courant : Convient pour le soudage AC de 50 à 150 A, convient aux équipements de soudage de petite et moyenne taille, tels que les soudeuses TIG manuelles.

Applications typiques : fabrication d'appareils électroménagers, soudage de cadres en alliage d'aluminium de vélo, soudage de structures en aluminium de navires.

Avantages : Coût inférieur, allumage facile, adapté à la production à petite et moyenne échelle ou aux tâches de soudage à basse fréquence.

Limites : En cas de courants élevés ou de soudure prolongée, la résistance à l'épuisement et la longévité du WZ3 peuvent être insuffisantes.

Scénarios d'application du WZ8

Matériaux de soudage : WZ8 convient au soudage d'alliages d'aluminium à haute demande, d'alliages de magnésium et d'aciers inoxydables, en particulier dans le soudage de plaques épaisses (telles que d'une épaisseur supérieure à 5 mm) ou le soudage de haute précision.

Gamme de courant : Convient pour le soudage AC à courant élevé de 150 à 400 A, convient aux équipements de soudage automatisés ou à l'arc AC à haute fréquence.

Applications typiques : aérospatiale (p. ex., fuselage d'avion, composants de moteurs), industrie nucléaire (p. ex., composants de réacteurs), fabrication de dispositifs médicaux (p. ex., enceintes d'équipements à rayons X).

Avantages : Forte concentration d'arc, résistance élevée aux brûlures et longue durée de vie, adapté aux tâches de soudage à haute résistance et à long terme.

Limites : Un coût plus élevé, légèrement plus difficile à traiter, peut ne pas convenir aux scénarios de faible courant ou de faible précision.

Principes de sélection La sélection des grades d'électrodes de zirconium et de tungstène doit tenir compte des facteurs suivants :

Courant de soudage : WZ3 pour courant faible, WZ8 pour courant élevé.

Type de matériau : Les alliages d'aluminium et de magnésium préfèrent les électrodes de zirconium et de tungstène, et le WZ8 est plus adapté aux exigences de haute précision.

Environnement de soudage : le WZ8 est préféré pour les scénarios de courant alternatif à haute fréquence ou d'entrée de chaleur élevée, et le WZ3 peut être sélectionné pour le soudage alternatif ordinaire.

Abordabilité : WZ3 a un coût inférieur et convient aux petites et moyennes entreprises ; Le WZ8 offre d'excellentes performances et convient aux applications haut de gamme.

Compatibilité de l'équipement : Assurez-vous que le diamètre et la longueur de l'électrode correspondent à l'équipement de soudage, avec des diamètres courants de 1,6 mm, 2,4 mm, 3,2 mm, etc.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

3.4 Normalisation des grades d'électrodes de zirconium et de tungstène et comparaison internationale

La normalisation de la qualité des électrodes en zirconium et tungstène est essentielle pour garantir leur cohérence et leur interchangeabilité dans le monde entier. Les normes internationales et nationales fournissent des spécifications unifiées pour les grades, la composition chimique et les exigences de performance des électrodes en zirconium-tungstène, favorisant ainsi le développement mondial de l'industrie du soudage.

Normes internationales

ISO 6848:2015 : Cette norme spécifie la classification et les exigences pour les électrodes en tungstène non consommables, les électrodes en zirconium et tungstène étant classées dans la série « WZ », en spécifiant la composition chimique, la désignation de la couleur (marron ou blanc) et les exigences de performance pour WZ3 (0,15 % à 0,4 % de ZrO_2) et WZ8 (0,7 % à 0,9 % de ZrO_2). Les normes ISO spécifient également les tolérances dimensionnelles, la qualité de surface et les méthodes d'inspection des électrodes.

AWS A5.12/A5.12M :2009 : La norme de l'American Welding Society est très cohérente avec les normes ISO et définit en détail les grades, les compositions chimiques et les scénarios d'application des électrodes de zirconium et de tungstène. Dans la norme AWS, l'identification des couleurs du WZ3 et du WZ8 est respectivement le brun et le blanc, ce qui est conforme aux pratiques internationales.

Autres normes internationales : l'Europe (norme EN) et le Japon (norme JIS) font également référence aux normes ISO et AWS, garantissant la compatibilité mondiale des électrodes en zirconium et tungstène.

Norme nationale

GB/T 4187-2017 : La norme nationale chinoise « Électrode de tungstène » spécifie en détail la qualité, la composition chimique, les performances et les méthodes d'essai des électrodes de tungstène de zirconium. Les normes nationales WZ3 et WZ8 sont conformes aux normes internationales, mais il peut y avoir une dénomination étendue dans les normes d'entreprise, telles que « WZr-3 » ou « WZr-8 ».

Normes de l'industrie : L'Association chinoise du soudage et l'Association de l'industrie des métaux non ferreux ont élaboré des normes supplémentaires qui fixent des exigences supplémentaires pour les électrodes en zirconium et en tungstène dans des industries spécifiques (p. ex., aérospatiale, industrie nucléaire).

La relation de comparaison entre les grades internationaux et nationaux est relativement simple, et WZ3 et WZ8 sont définis de manière cohérente dans les normes ISO, AWS et GB/T. L'identification des couleurs (marron ou blanc) est uniforme dans le monde entier pour une identification facile sur site. Certains pays peuvent présenter de légères différences dans la teneur en impuretés, le traitement de surface ou les exigences d'emballage des électrodes dans la norme, mais les indicateurs de performance de base restent cohérents.

Avec les progrès de la technologie de soudage, la normalisation des électrodes de zirconium et de

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

tungstène est également constamment mise à jour. Les tendances futures comprennent :

Optimisation des performances : Développez de nouvelles nuances pour répondre aux besoins de soudage de courants élevés, de hautes fréquences ou de matériaux spéciaux.
Exigences en matière de protection de l'environnement : réduire davantage la teneur en impuretés de l'électrode et promouvoir une fabrication écologique.
Coordination internationale : Renforcer la coordination des normes ISO, AWS et GB/T pour faciliter le commerce et l'application à l'échelle mondiale.
Tests intelligents : Introduire une technologie de test automatisé pour améliorer la précision et l'efficacité de la certification des notes.

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO2 Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

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
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 4 Caractéristiques des électrodes de zinc-tungstène

4.1 Stabilité de l'arc des électrodes de zirconium et de tungstène

La stabilité de l'arc est l'une des principales propriétés de l'électrode de zirconium et de tungstène dans le soudage sous protection gazeuse inerte au tungstène (soudage TIG) et la découpe au plasma, qui fait référence à la capacité de l'électrode à maintenir une forme d'arc stable et à éviter la dérive de l'arc dans des environnements d'arc à courant élevé et à haute température. Les électrodes en zinc-tungstène excellent dans la stabilité de l'arc en raison de leur dopage de la zircone (ZrO_2), en particulier dans le soudage à courant alternatif (AC).

Le dopage de la zircone réduit la fonction de travail d'échappement des électrons de la matrice de tungstène, ce qui facilite l'émission d'électrons à partir de la surface de l'électrode, ce qui permet d'obtenir un arc stable. Par rapport aux électrodes en tungstène pur, l'arc des électrodes en zirconium et en tungstène est plus concentré et le phénomène de dérive d'arc est considérablement réduit. Cette propriété est particulièrement importante lors du soudage de métaux légers tels que l'aluminium et le magnésium, car ces matériaux sont sujets à des défauts de soudure tels que la porosité ou la non-fusion en raison de l'instabilité de l'arc dans le soudage AC. La stabilité de l'arc des électrodes de tungstène de zirconium est principalement due à la distribution uniforme des particules de zircone dans la matrice de tungstène, ce qui améliore la durabilité et la contrôlabilité de l'arc en optimisant la structure cristalline et les caractéristiques d'émission d'électrons de surface.

Dans les applications pratiques, la stabilité de l'arc des électrodes de zirconium et de tungstène est étroitement liée à la teneur en zircone. Par exemple, WZ8 (0,7 % à 0,9 % de ZrO_2) par rapport à WZ3 (0,15 % à 0,4 % de ZrO_2) a une concentration d'arc plus élevée et convient au soudage AC à courant élevé (150 à 400 A), capable de maintenir une forme d'arc stable dans les arcs à haute fréquence. Le WZ3 est plus adapté aux scénarios de courant moyen (50-150 A), et sa stabilité d'arc est suffisante pour répondre aux besoins du soudage de plaques minces ou du soudage AC basse fréquence. L'excellente performance de stabilité de l'arc rend les électrodes en zirconium-tungstène largement utilisées dans les industries de l'aérospatiale, de la construction automobile et de la construction navale où la qualité de la soudure est extrêmement élevée.

De plus, la stabilité de l'arc des électrodes en zirconium et tungstène est également affectée par la forme de la pointe de l'électrode. Le meulage de la pointe dans une forme conique (généralement de 30° à 60°) peut encore améliorer la concentration de l'arc et réduire l'étalement de l'arc. Les équipements de soudage modernes optimisent encore la stabilité de l'arc des électrodes de zirconium et de tungstène en contrôlant avec précision les formes d'onde de courant, telles que l'onde carrée AC, ce qui leur permet de faire preuve d'une plus grande fiabilité dans des environnements de soudage complexes.

4.2 Performances d'allumage et durée de vie de l'électrode de zirconium et de tungstène

Les performances d'allumage font référence à la facilité avec laquelle l'électrode initie l'arc, généralement évaluée par la tension d'allumage et le taux de réussite de l'allumage. L'électrode de tungstène de zirconium réduit considérablement le travail d'échappement d'électrons (environ 2,7 à

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

3,0 eV, contre 4,5 eV pour le tungstène pur) en raison du dopage de la zircone, ce qui facilite l'initiation de l'arc, en particulier dans le soudage AC à haute fréquence. Cette excellente performance d'allumage fait des électrodes de zirconium et de tungstène le matériau de choix pour le soudage des alliages d'aluminium et de magnésium.

Les performances d'allumage de l'électrode WZ8 sont meilleures que celles de la WZ3 en raison de sa teneur plus élevée en zircone. Dans le soudage AC à haute fréquence, le WZ8 peut rapidement former un arc à une tension d'allumage plus faible, réduisant ainsi le risque de défaillance de l'allumage ou d'interruption de l'arc. Bien que les performances d'allumage du WZ3 soient légèrement inférieures à celles du WZ8, il fournit toujours des résultats d'allumage fiables dans la plage des courants moyens, ce qui le rend adapté aux tâches de soudage de petite à moyenne taille. L'amélioration des performances d'allumage améliore non seulement l'efficacité du soudage, mais réduit également les pertes d'équipement et le temps de fonctionnement perdu en raison des difficultés d'allumage.

La durée de vie de l'électrode est une autre caractéristique clé des électrodes en zirconium et tungstène, qui fait référence au temps pendant lequel l'électrode peut maintenir ses performances dans des conditions normales d'utilisation. La durée de vie des électrodes en zirconium-tungstène est principalement limitée par leur capacité à résister à l'épuisement et à la contamination. Le dopage de la zircone réduit considérablement le taux de combustion de l'électrode dans l'arc à haute température en formant une couche d'oxyde stable. Les électrodes WZ8 ont généralement une durée de vie de 30 à 50 % plus longue que les électrodes WZ3 en raison de leur teneur plus élevée en zircone, en particulier dans le soudage à courant élevé et à long terme. Par exemple, dans le soudage TIG de composants aérospatiaux, l'électrode WZ8 est capable de fonctionner à des courants élevés continus (200-300 A) pendant des heures sans être remplacée fréquemment.

La durée de vie de l'électrode est également affectée par l'environnement de soudage et les conditions de fonctionnement. Par exemple, une bonne protection contre les gaz inertes, tels que l'argon ou l'hélium, peut réduire l'oxydation à la surface de l'électrode et prolonger la durée de vie. L'optimisation de l'angle de meulage de la pointe et de la forme d'onde du courant prolonge également efficacement la durée de vie de l'électrode. Par rapport aux électrodes en tungstène pur, la durée de vie des électrodes en zirconium et en tungstène est généralement prolongée de 2 à 3 fois dans le soudage AC, ce qui les rend plus économiques dans la production industrielle.

4.3 Résistance aux brûlures et capacité anti-pollution de l'électrode de zirconium et de tungstène

La résistance à la combustion est la capacité des électrodes en zirconium-tungstène à résister à la fusion ou à la perte de la pointe dans un environnement d'arc électrique à haute température. L'électrode de zirconium et de tungstène améliore considérablement la résistance à l'épuisement par dopage à la zircone. Les particules de zircone forment une phase dispersée stable dans la matrice de tungstène, ce qui peut inhiber efficacement les réactions de volatilisation et d'oxydation du tungstène à haute température (formant des oxydes volatils tels que le WO_3). Ce mécanisme de protection permet à l'électrode de tungstène de zirconium de conserver sa forme de pointe dans un

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

environnement d'arc supérieur à 6000°C, réduisant ainsi l'épuisement et la fusion.

Les électrodes WZ8 sont plus résistantes à l'épuisement que les électrodes WZ3 car leur teneur plus élevée en zircone forme une couche protectrice plus dense. Dans le soudage AC à courant élevé, le taux de brûlure de la pointe de l'électrode WZ8 peut être réduit à 1/3 de celui d'une électrode en tungstène pur, ce qui prolonge considérablement la durée de vie de l'électrode. L'électrode WZ3 offre également une bonne résistance à l'épuisement à des courants modérés, mais un fonctionnement prolongé à courant élevé peut provoquer une légère usure de la pointe.

La résistance à la contamination fait référence à la capacité de l'électrode à résister à l'adhérence des vapeurs métalliques, des oxydes ou d'autres contaminants pendant le processus de soudage. Dans le soudage des alliages d'aluminium, les oxydes d'aluminium (Al_2O_3) et d'autres impuretés ont tendance à adhérer à la pointe de l'électrode, entraînant une instabilité de l'arc ou des difficultés d'allumage. La capacité antisalissure des électrodes de zirconium et de tungstène est due à la stabilité chimique de la zircone et sa surface n'est pas sujette à des réactions chimiques avec des oxydes d'aluminium ou d'autres contaminants. De plus, les électrodes en zirconium-tungstène ont une finition de surface plus élevée, souvent obtenue grâce à un polissage de précision, ce qui réduit encore la probabilité d'adhésion de contaminants.

Dans les applications pratiques, la résistance à la contamination de l'électrode de zirconium et de tungstène lui permet d'exceller dans des environnements de soudage complexes. Par exemple, dans des environnements très humides ou oxygénés, les électrodes en zirconium-tungstène peuvent maintenir des performances d'arc stables et réduire les défauts de soudage causés par la contamination. Par rapport aux électrodes de tungstène de thorium, les électrodes de tungstène de zirconium sont non radioactives, plus respectueuses de l'environnement et leur capacité anti-pollution est meilleure que celle des électrodes de tungstène de cérium et de tungstène de lanthane dans le soudage AC.

4.4 Performances de l'électrode de zirconium et de tungstène dans différents environnements de soudage

Les performances des électrodes en zirconium et tungstène dans différents environnements de soudage varient en fonction du type de courant (DC ou AC), du matériau de soudure et des conditions du processus. Ce qui suit analyse leurs performances en soudage en courant continu (CC) et en courant alternatif (CA).

4.4.1 Soudure en courant continu (DC)

Dans le soudage à courant continu (DC), l'électrode de tungstène de zirconium est généralement utilisée comme électrode négative (DCEN, Direct Current Electrode Anode), avec un arc émettant des électrons vers la pièce. Les électrodes en zirconium et tungstène sont relativement rarement utilisées dans le soudage DC car leur principal avantage réside dans le soudage AC. Cependant, les électrodes en zirconium et en tungstène peuvent toujours jouer un rôle dans des scénarios de soudage DC spécifiques, tels que le soudage à faible courant ou le soudage d'alliages spéciaux.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Stabilité de l'arc : Dans le soudage DC, la stabilité de l'arc des électrodes de tungstène de zirconium est légèrement inférieure à celle des électrodes de tungstène de thorium ou de tungstène de lanthane, mais meilleure que celle des électrodes de tungstène pur. Son dopage à la zircone maintient l'arc relativement concentré et convient au soudage de tôles minces d'acier inoxydable ou d'alliages de magnésium.
Performance d'allumage : Les électrodes en zinc-tungstène ont de bonnes performances d'allumage dans le soudage CC, mais elles ne sont pas aussi exceptionnelles que les électrodes en tungstène de cérium ou en tungstène lanthane à faible courant.
Résistance à l'épuisement : Dans le soudage CC, la température de la pointe de l'électrode est basse et la résistance à l'épuisement de l'électrode en zirconium et tungstène est suffisante pour répondre aux besoins et a une longue durée de vie.
Scénarios d'application : L'application des électrodes de zirconium et de tungstène dans le soudage DC est principalement axée sur les scénarios sensibles à la contamination des électrodes, tels que la fabrication de dispositifs médicaux ou le soudage d'acier inoxydable de qualité alimentaire.

Dans l'ensemble, les électrodes de tungstène de zirconium ne fonctionnent pas aussi bien que les électrodes de tungstène de thorium ou de tungstène de lanthane dans le soudage DC, mais leur non-radioactivité et leur résistance à la contamination les rendent compétitives dans des scénarios spécifiques.

4.4.2 Soudage AC (AC)

Le soudage AC est le principal domaine d'application des électrodes en zirconium et tungstène, en particulier lors du soudage de métaux légers tels que l'aluminium et le magnésium. Dans le soudage AC, l'électrode alterne entre les demi-cercles positifs et négatifs sous forme de cathodes et d'anodes, ce qui entraîne de grandes fluctuations de température à la pointe de l'électrode, ce qui nécessite une stabilité thermique élevée et une résistance à l'épuisement des électrodes.

Stabilité de l'arc : Les électrodes en zirconium et tungstène présentent une excellente stabilité de l'arc dans le soudage AC, avec des arcs concentrés et une faible dérive. L'électrode WZ8 peut former un arc conique stable à courant élevé (150-400 A), ce qui convient au soudage d'alliages d'aluminium épais ; L'électrode WZ3 est adaptée aux courants moyens (50-150 A) et est utilisée pour le soudage de tôles.

Performances d'allumage : Les électrodes en zinc-tungstène ont d'excellentes performances d'allumage dans le soudage AC, en particulier dans les arcs AC à haute fréquence, qui peuvent rapidement démarrer l'arc et réduire les défaillances d'allumage.

Capacité de résistance à la brûlure : Dans le soudage AC, la résistance à la brûlure de l'électrode de zirconium et de tungstène est nettement meilleure que celle de l'électrode de tungstène pur. Les électrodes WZ8 conservent la forme de la pointe et prolongent la durée de vie dans des conditions de haute fréquence et de courant élevé.

Scénarios d'application : Les électrodes en zirconium et tungstène sont largement utilisées dans

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

l'aérospatiale (comme le soudage de fuselage d'avion), la fabrication automobile (comme les carrosseries en alliage d'aluminium) et l'industrie maritime (comme les coques en alliage d'aluminium). Ses excellentes propriétés en soudage AC en font l'électrode préférée pour le soudage des alliages d'aluminium.

Les avantages de l'électrode de zirconium et de tungstène dans le soudage AC sont également dus à la technologie actuelle de contrôle de la forme d'onde des équipements de soudage modernes. Par exemple, le courant alternatif à ondes carrées peut optimiser la commutation demi-circonférentielle positive et négative de l'arc, combinée aux hautes performances des électrodes en zirconium-tungstène, afin d'améliorer encore la qualité du soudage.

4.5 Propriétés thermodynamiques des électrodes de zirconium et de tungstène

Les propriétés thermodynamiques des électrodes en zirconium-tungstène sont à la base du maintien de performances stables dans les environnements d'arc à haute température, notamment la capacité thermique, le coefficient de dilatation thermique, la conductivité thermique et d'autres indicateurs. Ses propriétés thermodynamiques sont analysées en détail ci-dessous :

Capacité thermique : La capacité thermique spécifique de l'électrode de zirconium et de tungstène est d'environ 0,13 J/(g· K) (proche du tungstène pur), capable d'absorber et de stocker la chaleur à haute température, réduisant ainsi la surchauffe de la pointe. Le dopage de la zircone augmente légèrement la capacité thermique de l'électrode, ce qui lui permet de mieux faire face aux fluctuations de température dans les arcs à courant alternatif à haute fréquence.

Coefficient de dilatation thermique : Le coefficient de dilatation thermique des électrodes en zirconium-tungstène est d'environ $4{,}5\times10^{-6}$ K^{-1} (proche du tungstène pur), et le coefficient de dilatation thermique plus faible le rend moins déformé à haute température, ce qui maintient la stabilité de la géométrie de la pointe. L'ajout de zircone réduit encore le coefficient de dilatation thermique et améliore la résistance aux chocs thermiques de l'électrode.

Conductivité thermique : La conductivité thermique des électrodes en zirconium et tungstène est d'environ 173 W/(m·K) (à température ambiante), ce qui permet de conduire rapidement la chaleur de la pointe de l'électrode vers d'autres pièces pour éviter une surchauffe locale. L'électrode WZ8 a une conductivité thermique légèrement supérieure à celle de WZ3 en raison de sa microstructure plus dense, qui aide à maintenir des températures de pointe plus basses dans le soudage à courant élevé.

Stabilité thermique : Le point de fusion élevé des électrodes de zirconium et de tungstène (environ 3422°C) leur permet de maintenir leur intégrité structurelle dans des environnements d'arc supérieur à 6000°C. Les particules de zircone améliorent la stabilité thermique de l'électrode en inhibant la croissance des grains et la déformation à haute température.

Ces propriétés thermodynamiques permettent aux électrodes en zirconium-tungstène de maintenir des performances stables dans des conditions extrêmes telles que des courants élevés et des soudures

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

prolongées, réduisant ainsi l'épuisement et la déformation, et prolongeant leur durée de vie.

4.6 Analyse de la microstructure des électrodes de zirconium et de tungstène

La microstructure des électrodes de zirconium et de tungstène a un impact significatif sur leurs performances et est généralement analysée à l'aide de techniques telles que la microscopie électronique à balayage (MEB), la diffraction des rayons X (DRX) et la microscopie électronique à transmission (MET). La microstructure de l'électrode de zirconium et de tungstène comprend principalement les caractéristiques de distribution de la matrice de tungstène et des particules de zircone.

Matrice de tungstène : La matrice de tungstène des électrodes de zirconium et de tungstène est une structure cristalline cubique centrée sur le corps (BCC), avec des tailles de grains allant généralement de 10 à 50 μm. La grande pureté du tungstène (plus de 99,5 %) assure la compacité et la résistance mécanique de la matrice.

Particules de zircone : La zircone est uniformément répartie dans la matrice de tungstène sous forme de minuscules particules (0,1 à 1 μm de diamètre), et WZ8 a une densité de particules plus élevée que WZ3. Les particules de zircone inhibent la croissance des grains de tungstène à haute température grâce à l'effet d'épinglage, améliorant ainsi la stabilité thermique et les propriétés mécaniques de l'électrode.

Caractéristiques interfaciales : L'interface entre la zircone et la matrice de tungstène est étroitement liée, sans pores ni fissures apparents. Cette bonne liaison d'interface améliore la résistance de l'électrode aux chocs thermiques et à l'épuisement.

Défauts microscopiques : La porosité des électrodes en zirconium et tungstène de haute qualité est inférieure à 0,5 % dans la microstructure, et la teneur en phases d'impuretés (telles que les oxydes ou les carbures) est très faible. Les processus de frittage et de traitement thermique pendant la production sont essentiels pour réduire les défauts microscopiques.

L'analyse microstructurale a montré que l'électrode WZ8 avait une distribution plus uniforme des particules de zircone et une taille de grain plus petite (environ 10 à 20 μm), ce qui lui conférait une plus grande stabilité dans le soudage à courant élevé. L'électrode WZ3 a une granulométrie légèrement plus grande (environ 20 à 50 μm) et convient aux scénarios de courant moyen. L'optimisation de la microstructure est la clé pour améliorer les performances des électrodes en zirconium-tungstène, et les techniques de production modernes améliorent encore l'uniformité et la densité de la structure en contrôlant les processus de dopage et de frittage.

4.7 Zhongtungsten Fabrication intelligente Électrode de tungstène de zirconium MSDS

La fiche de données de sécurité (FDS) fournit des conseils de sécurité pour l'utilisation, le stockage et la manipulation des électrodes de zirconium et de tungstène. Ce qui suit est un résumé de la fiche signalétique des électrodes de zinc-tungstène de Chine Tungsten Intelligent Manufacturing, basée sur les normes de l'industrie et les spécifications communes :

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Nom du produit : Électrode de tungstène de zirconium (WZ3, WZ8)
Composition chimique : tungstène (W, plus de 99,5 %), zircone (ZrO_2, 0,15 % –0,9 %), impuretés traces (Fe, Si, C, etc., <0,05 %).
État physique : tige métallique solide, diamètre 1,0 à 6,4 mm, longueur 150 à 300 mm.

Identification des dangers :
Les électrodes en zirconium et tungstène ne présentent pas de risques significatifs pour la santé et sont non radioactives dans des conditions normales d'utilisation.
Des vapeurs métalliques, de l'ozone et des rayons ultraviolets peuvent être générés pendant le processus de soudage, et des équipements de protection (tels que des masques de soudage, des gants) doivent être portés.
De la poussière de tungstène peut être générée lors du broyage des électrodes, et des équipements de ventilation et des dispositifs de protection respiratoire sont nécessaires.

Mesures de premiers secours :
Inhalez de la poussière : Placez-vous dans un endroit ventilé et consultez un médecin si nécessaire.
Contact avec la peau : pas de risques particuliers, il suffit de laver.
Contact avec les yeux : Si de la poussière pénètre dans les yeux, rincez-les à l'eau et consultez un médecin.

Mesures de protection contre les incendies : L'électrode de tungstène en zirconium est ininflammable, utilisez des extincteurs à poudre sèche ou à dioxyde de carbone pour faire face aux incendies environnants.
Manutention et stockage :
Conserver dans un environnement sec et ventilé, à l'abri de l'humidité ou de la chaleur.
Après utilisation, l'électrode de déchet doit être recyclée et éliminée comme déchet métallique pour éviter toute mise au rebut aléatoire.

Protection individuelle : utiliser des masques de protection, des gants et des équipements de ventilation lors du soudage ; Portez un masque anti-poussière et des lunettes de protection lors du meulage.
Impact sur l'environnement : Les électrodes en zirconium et tungstène ne présentent pas de risques environnementaux importants, et leur production et leur élimination doivent être conformes aux réglementations environnementales.
Informations d'expédition : Marchandises non dangereuses, évitez les dommages mécaniques et l'humidité pendant le transport.

L'électrode de zirconium tungstène MSDS de China Tungsten Intelligent Manufacturing est conforme aux normes internationales (telles que OSHA, REACH) pour garantir que les utilisateurs sont en sécurité et conformes pendant le fonctionnement. La fiche signalétique réelle peut varier légèrement en fonction du fabricant et des réglementations régionales, et il est recommandé aux utilisateurs de se référer à la version spécifique fournie par le fournisseur.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 5 Préparation et processus de production des électrodes de zinc-tungstène

Le processus de production préparative des électrodes de zirconium et de tungstène est un processus complexe et de haute précision qui implique plusieurs étapes, de la sélection des matières premières au traitement du produit fini. Les hautes performances des électrodes en zirconium-tungstène dépendent de la qualité des matières premières, de l'uniformité du dopage, du contrôle de la microstructure et de l'optimisation des processus de traitement. Ce chapitre détaille le processus de préparation et de production des électrodes de zirconium et de tungstène, couvrant la préparation des matières premières, le processus de métallurgie des poudres, la technologie de moulage, le traitement de surface et le polissage, ainsi que le contrôle de la qualité et l'optimisation des processus.

5.1 Préparation des matières premières pour les électrodes de zirconium et de tungstène

La préparation des matières premières est fondamentale pour la production d'électrodes de zirconium et de tungstène, affectant directement sa composition chimique, sa microstructure et ses propriétés finales. Les principales matières premières des électrodes en zirconium et en tungstène comprennent la poudre de tungstène de haute pureté et les composés de zircone (ZrO_2), qui doivent être strictement sélectionnés et prétraités pour s'assurer qu'ils répondent aux exigences de production.

5.1.1 Sélection de la poudre de tungstène et des composés de zirconium

Sélection de poudre de tungstène

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

La poudre de tungstène est la principale matière première des électrodes de tungstène de zirconium, généralement préparées à partir de tungstates (tels que le paratungstate d'ammonium, APT) par un processus de réduction. La pureté de la poudre de tungstène est extrêmement élevée, atteignant généralement plus de 99,95 % (grade 3N5 ou supérieur) pour réduire l'impact des impuretés (telles que le fer, le silicium, le carbone, l'oxygène) sur les performances de l'électrode. La distribution granulométrique de la poudre de tungstène est cruciale pour les processus ultérieurs, avec des tailles de particules courantes allant de 1 à 10 µm et une taille moyenne d'environ 3 à 5 µm. La taille des particules fines est propice à l'amélioration des performances de frittage de la poudre et de la densité des électrodes, mais des particules trop fines peuvent augmenter la difficulté de broyage et les coûts de production.

La morphologie de la poudre de tungstène doit également être strictement contrôlée, et les particules sphériques ou presque sphériques sont préférées car elles ont une meilleure fluidité et une meilleure densité apparente, ce qui est propice au processus de mélange et de pressage. Dans la production moderne, la poudre de tungstène est généralement préparée par réduction d'hydrogène ou par sphéroïdisation au plasma pour assurer une morphologie uniforme et une faible teneur en impuretés.

Sélection des composés de zircone

La zircone (ZrO_2) est utilisée comme dopant pour les électrodes de tungstène de zircone, généralement ajoutée sous forme de poudre ou de solution de haute pureté. La pureté de la zircone doit atteindre plus de 99,9 % pour éviter que les impuretés n'interfèrent avec les performances d'émission d'électrons de l'électrode. La taille des particules de zircone est généralement de l'ordre de 0,1 à 1 µm, et la zircone à l'échelle nanométrique (<100 nm) devient progressivement populaire dans la production d'électrodes haut de gamme car elle peut être répartie plus uniformément dans la matrice de tungstène et améliorer la stabilité microstructurelle de l'électrode.

Le choix de la zircone doit également tenir compte de sa structure cristalline, généralement du ZrO_2 monoclinique ou de la zircone partiellement stabilisée (PSZ, dopée avec une petite quantité d'oxyde de magnésium ou d'oxyde d'yttrium). La zircone monoclinique a une bonne stabilité dans le processus de frittage à haute température, ce qui convient à la préparation d'électrodes de zirconium et de tungstène. Le rapport d'ajout de zircone est contrôlé avec précision en fonction de la qualité de l'électrode (par exemple, WZ3, WZ8), généralement de 0,15 % à 0,9 % (pourcentage en poids).

5.1.2 Pureté et prétraitement des matières premières

Pureté de la matière première : La pureté de la matière première affecte directement les performances de l'électrode de zirconium et de tungstène. Les impuretés dans la poudre de tungstène (par exemple, le < de fer 0,005 %, le silicium < 0,003 %, le carbone < 0,005 %) sont rigoureusement détectées par analyse chimique (par exemple, ICP-MS, spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif). Les impuretés dans la zircone (telles que l'alumine, l'oxyde de silicium) doivent également être contrôlées en dessous de 0,01 % pour garantir la stabilité chimique et les performances d'arc de l'électrode.

La sélection de matières premières de haute pureté doit être combinée avec les qualifications des fournisseurs et les processus de production. Par exemple, les fabricants de poudre de tungstène

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

doivent disposer d'équipements de réduction et de purification avancés, tandis que la zircone doit être préparée par précipitation chimique ou par des méthodes sol-gel pour garantir une grande pureté et une morphologie uniforme des particules.

Le prétraitement des matières premières implique des étapes telles que le nettoyage, le séchage et le criblage, visant à éliminer les impuretés de surface, à ajuster la distribution granulométrique et à améliorer l'uniformité des matières premières. La poudre de tungstène est généralement décapée (comme l'acide chlorhydrique dilué ou une solution d'acide nitrique) pour éliminer les oxydes de surface et les résidus organiques, suivie d'un séchage sous vide ou dans un gaz inerte (comme l'argon) pour éviter l'oxydation. La poudre de zircone doit être nettoyée par nettoyage par ultrasons ou par calcination à haute température pour éliminer l'humidité adsorbée et les impuretés volatiles.

Le criblage est une étape importante du prétraitement pour contrôler la distribution granulométrique de la poudre de tungstène et de la zircone. Les tamis vibrants ou les classificateurs de flux d'air sont couramment utilisés pour contrôler la taille des particules dans la plage cible (3 à 5 μm pour la poudre de tungstène, 0,1 à 1 μm pour la zircone). De plus, certains processus de production haut de gamme peuvent utiliser la technologie de broyage à billes ou de séchage par atomisation pour optimiser davantage la morphologie et le flux des matières premières.

5.2 Procédé de métallurgie des poudres de l'électrode de zirconium et de tungstène

La métallurgie des poudres est le processus de base de la production d'électrodes de zirconium et de tungstène, convertissant la poudre de tungstène et la zircone en ébauches d'électrodes denses grâce à des étapes telles que le mélange, le pressage et le frittage. Un contrôle précis des processus de métallurgie des poudres est crucial pour la microstructure et les performances des électrodes.

5.2.1 Mélange et broyage

mélanger

Le mélange est le processus qui consiste à combiner uniformément de la poudre de tungstène avec de la poudre de zircone, dans le but d'assurer une distribution uniforme des particules de zircone dans la matrice de tungstène. Le mélange se fait généralement à l'aide d'un procédé de mélange sec ou humide :

Mélange à sec : À l'aide d'un mélangeur à grande vitesse ou d'un mélangeur en V, le mélange est effectué sous la protection de gaz inertes tels que l'argon. Le temps de mélange est généralement de 2 à 4 heures pour éviter l'agglomération de la poudre et l'introduction d'impuretés.

Mélange humide : La poudre de tungstène et la zircone sont dispersées dans un milieu liquide (tel que l'éthanol ou l'eau déminéralisée) pour obtenir un mélange uniforme par agitation ou dispersion ultrasonique. Après le mélange humide, le milieu liquide doit être éliminé par séchage par pulvérisation ou sous vide.

Le processus de mélange nécessite un contrôle précis du rapport de zircone (par exemple, 0,3 % pour WZ3 et 0,8 % pour WZ8), et est généralement pesé à l'aide de balances électroniques de haute

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

précision. Dans la production moderne, les équipements de mélange automatisés, tels que les mélangeurs planétaires, peuvent améliorer l'uniformité du mélange et réduire les erreurs humaines.

Moudre

Le broyage est utilisé pour affiner davantage les particules de poudre, optimisant ainsi la distribution granulométrique et la morphologie des particules. Les équipements couramment utilisés comprennent les broyeurs à boulets ou les broyeurs à flux d'air, et les supports de broyage (tels que les billes de zircone ou les billes de tungstène) nécessitent un choix de matériaux à haute dureté et à faible contamination. Le temps de broyage est généralement de 4 à 8 heures et la température (<50°C) doit être contrôlée pour éviter l'oxydation de la poudre. La poudre broyée est à nouveau tamisée pour assurer une taille de particule uniforme (2 à 5 µm pour la poudre de tungstène, 0,1 à 0,5 µm pour la zircone).

Le broyage de la zircone à l'échelle nanométrique nécessite un broyage à billes à haute énergie ou des techniques de broyage ultra-fines pour obtenir un effet de dopage plus uniforme. Pendant le processus de broyage, la teneur en oxygène et les niveaux d'impuretés de la poudre doivent être surveillés pour éviter la détérioration des performances.

5.2.2 Moulage par pressage

Le pressage est le processus de pressage de poudre mélangée en ébauches d'électrodes, généralement à l'aide de procédés de pressage isostatique à froid (CIP) ou de moulage. Le but du pressage est de former une billette avec une certaine résistance et densité qui facilite le frittage ultérieur.

Pressage isostatique à froid (CIP) : La poudre mélangée est chargée dans un moule flexible et pressée uniformément à travers un milieu liquide (tel que l'eau ou l'huile) sous haute pression (100-200 MPa) pour former une ébauche dense. Le processus CIP peut réduire la porosité et la concentration de contraintes dans la billette et améliorer l'uniformité de l'électrode après frittage.
Moulage : La poudre est pressée en ébauches cylindriques à l'aide de moules rigides et de presses hydrauliques, adaptés à la production à faible volume. Le processus de moulage nécessite un contrôle précis de la pression (50 à 100 MPa) et du temps de maintien (10 à 30 secondes) pour éviter la fissuration de la billette.

Pendant le processus de pressage, la densité apparente de la poudre (généralement de 50 à 60 % de densité théorique) doit être contrôlée et la contamination par le moule doit être évitée. Le diamètre de la billette pressée est généralement de 10 à 20 mm et la longueur de 100 à 300 mm, et la taille spécifique est déterminée en fonction des besoins d'usinage ultérieurs.

5.2.3 Procédé de frittage

Le frittage est le processus de chauffage des billettes pressées à des températures élevées pour lier les particules de poudre en un matériau dense. Le frittage d'électrodes de zirconium et de tungstène utilise généralement le frittage sous vide à haute température ou le frittage de protection contre l'hydrogène pour garantir la haute densité et la faible teneur en impuretés des électrodes.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Équipement de frittage : fours de frittage sous vide à haute température ou fours de frittage d'hydrogène couramment utilisés, avec une plage de température de 1800 à 2200 °C. Le frittage sous vide élimine efficacement l'oxygène et les impuretés volatiles de la billette, tandis que le frittage d'hydrogène empêche l'oxydation du tungstène en réduisant l'atmosphère.
Paramètres du processus de frittage :
Température : La température de frittage doit être contrôlée avec précision, généralement par étapes : pré-frittage 1000°C pour éliminer les volatiles, frittage principal 1800-2000°C pour favoriser la liaison des particules, préservation à haute température 2200°C pour optimiser la structure cristalline.
Temps : Le temps total de frittage est de 4 à 8 heures, le temps de maintien est de 1 à 2 heures.
Atmosphère : Vide < 10^{-3} Pa ou hydrogène de haute pureté (pureté > 99,999 %).

Effet de frittage : La densité de frittage de l'électrode de tungstène de zirconium de haute qualité peut atteindre 95 % à 98 % de densité théorique et la porosité est inférieure à 0,5 %. Les particules de zircone sont uniformément réparties pendant le processus de frittage, inhibant la croissance des grains de tungstène et améliorant la stabilité thermique et les propriétés mécaniques de l'électrode.

La billette frittée doit être vérifiée pour les défauts internes par une inspection par rayons X ou une inspection par ultrasons pour s'assurer qu'il n'y a pas de fissures ou de pores. L'optimisation du processus de frittage est la clé pour améliorer les performances des électrodes de zirconium et de tungstène, et les systèmes de contrôle par ordinateur sont souvent utilisés dans la production moderne pour ajuster avec précision la température et l'atmosphère.

5.3 Technologie de moulage de l'électrode de zirconium et de tungstène

La billette frittée doit être transformée en tiges d'électrode qui répondent aux spécifications grâce à la technologie de moulage, y compris des étapes telles que l'emboutissage, l'extrusion, le traitement thermique et le recuit, pour obtenir la taille, la forme et les performances souhaitées.

5.3.1 Emtirage et extrusion

dessin
L'emboutissage est le processus d'étirement progressif de l'ébauche frittée à travers une série de moules pour fabriquer une tige d'électrode mince. L'équipement de tréfilage comprend une machine d'étirage à plusieurs passes, et le matériau du moule est généralement en carbure ou en diamant pour résister à la dureté élevée du tungstène. Les paramètres suivants doivent être contrôlés pendant le processus d'emboutissage :

Vitesse d'arrachement : 0,1–1 m/min, trop rapide peut provoquer des défauts de surface.
Lubrifiant : Utilisez un lubrifiant au graphite ou au disulfure de molybdène pour réduire l'usure du moule et les rayures de surface de l'électrode.
Passes : En règle générale, 10 à 20 tirages sont nécessaires pour réduire le diamètre de la billette de 10 à 20 mm à 1,0 à 6,4 mm.

La tolérance de diamètre de la tige d'électrode étirée doit être contrôlée à ±0,05 mm près, et la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

rugosité de surface Ra<0,8 µm. Le processus d'étirage peut améliorer la résistance mécanique et la finition de surface de l'électrode, mais il est nécessaire d'éviter les microfissures internes causées par un étirement excessif.

extrusion

L'extrusion est une alternative à l'emboutissage et convient à la production d'électrodes de grand diamètre telles que >6 mm. L'équipement d'extrusion est une machine d'extrusion hydraulique, et la billette est extrudée et formée par une matrice à haute température (1200-1500°C). L'avantage du processus d'extrusion est qu'il peut être moulé en une seule fois, ce qui réduit le nombre de passes de traitement, mais il nécessite une résistance à haute température de l'équipement et des moules.

5.3.2 Traitement thermique et recuit

traitement thermique

Le traitement thermique est utilisé pour éliminer les contraintes internes lors de l'étirage ou de l'extrusion, optimisant ainsi la structure cristalline des électrodes. Le traitement thermique est généralement effectué dans un four de protection sous vide ou à hydrogène à une température de 1200 à 1600 °C et un temps de maintien de 1 à 2 heures. Le traitement thermique peut améliorer la ductilité et la résistance à la rupture de l'électrode, réduisant ainsi le risque de fracture fragile en cours d'utilisation.

recuire

Le recuit est la prochaine étape du traitement thermique pour réduire davantage les contraintes internes grâce à un refroidissement lent (vitesse de refroidissement <50°C/h). Le processus de recuit peut améliorer la microstructure de l'électrode, permettant une distribution plus uniforme des particules de zircone et améliorant la stabilité thermique et les performances d'arc de l'électrode. La surface de l'électrode recuite doit être inspectée pour s'assurer qu'il n'y a pas d'oxydation ou de fissuration.

5.4 Traitement de surface et polissage des électrodes de zirconium et de tungstène

Le traitement de surface et le polissage sont les dernières étapes de la production d'électrodes en zirconium et tungstène, visant à améliorer la finition de surface et la stabilité des performances des électrodes. La qualité de surface affecte directement les performances d'allumage et la capacité anti-contamination de l'électrode.

Traitement de surface

La préparation de surface comprend le nettoyage et l'ébavurage pour éliminer les lubrifiants, les oxydes ou les micro-rayures laissés par le processus d'étirage ou d'extrusion. Les méthodes courantes comprennent :

Nettoyage chimique : Utilisez une solution acide diluée, telle que de l'acide nitrique à 5 % ou de l'acide chlorhydrique, pour nettoyer la surface de l'électrode afin d'éliminer les oxydes et les impuretés.

Nettoyage par ultrasons : Élimination des minuscules particules et des taches d'huile par vibration

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

ultrasonique dans de l'eau déminéralisée ou de l'éthanol.
Nettoyage au plasma : Utilisez du plasma à basse température pour traiter la surface de l'électrode afin d'améliorer la propreté de la surface.

poli
Le polissage est utilisé pour améliorer la finition de la surface de l'électrode et réduire la rugosité de surface (Ra<0,4 μm). Les équipements de polissage couramment utilisés comprennent les machines de polissage rotatives ou les équipements de polissage électrochimique, et le support de polissage est une suspension d'alumine ou de diamant. Le processus de polissage nécessite une vitesse et une pression contrôlées pour éviter la surchauffe ou la déformation de la surface due à un polissage excessif. La surface polie de l'électrode a un éclat miroir, ce qui aide à réduire l'adhérence des contaminants et la dérive de l'arc pendant le soudage.
Certaines électrodes haut de gamme peuvent utiliser des techniques de polissage au laser ou de polissage par faisceau d'ions pour obtenir des finitions de surface à l'échelle nanométrique, améliorant ainsi les performances d'allumage et les capacités anti-contamination.

5.5 Contrôle de la qualité et optimisation du processus des électrodes de zirconium et de tungstène

Le contrôle de la qualité et l'optimisation des processus traversent tous les aspects de la production d'électrodes de zirconium et de tungstène, dans le but de garantir que la composition chimique, la microstructure et les performances de l'électrode sont conformes aux normes internationales (par exemple, ISO 6848, AWS A5.12, GB/T 4187).

contrôle qualité

Test des matières premières : Détectez la composition chimique de la poudre de tungstène et de la zircone grâce à l'ICP-MS, à la spectroscopie de fluorescence X (XRF) et à d'autres méthodes pour s'assurer que la teneur en impuretés est inférieure aux exigences standard.
Surveillance du processus : utilisez des équipements de surveillance en ligne (tels qu'un analyseur de taille de particules laser, un thermomètre infrarouge) pour contrôler les paramètres du processus pendant les processus de mélange, de pressage, de frittage et de moulage, et détecter la taille des particules de poudre, la densité des billettes et la température de frittage en temps réel.
Inspection du produit fini : L'électrode après frittage et moulage doit être testée dans plusieurs dimensions, notamment :
Composition chimique : Vérifiez la teneur en zircone par analyse spectroscopique (par exemple, 0,3 % pour WZ3 et 0,8 % pour WZ8).
Microstructure : La taille des grains et la distribution de la zircone ont été analysées à l'aide de MEB et de DRX.
Tolérances dimensionnelles : Le diamètre de l'électrode (±0,05 mm) et la longueur (±1 mm) sont vérifiés par télémètre laser.
Qualité de surface : la valeur Ra (<0,4 μm) a été détectée à l'aide d'un rugomètre de surface.

Optimisation des processus

Production automatisée : Utilisez un automate programmable (PLC) ou un SCADA (système

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

d'acquisition et de surveillance des données) pour contrôler les processus de mélange, de pressage et de frittage, améliorant ainsi la cohérence et l'efficacité de la production.
Fabrication verte : optimisation du processus de frittage pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz d'échappement ; Recyclage des déchets (tels que la poudre de tungstène et la zircone) pour améliorer l'utilisation des matières premières.
Technologie intelligente : L'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique sont introduits pour optimiser les paramètres du processus, tels que la prédiction de la température de frittage optimale et de la vitesse d'étirage grâce à l'analyse des données, améliorant ainsi les performances des électrodes et le rendement de production.
Nanotechnologie : Des particules de zircone à l'échelle nanométrique et des techniques de dopage avancées (telles que la méthode sol-gel) sont utilisées pour améliorer l'uniformité microstructurelle et la stabilité des performances des électrodes.

La combinaison du contrôle de la qualité et de l'optimisation des processus garantit les hautes performances et la cohérence des électrodes en zirconium-tungstène, répondant ainsi aux besoins d'applications dans des domaines très exigeants tels que l'aérospatiale et le nucléaire. Les entreprises de production modernes ont également passé la certification du système de gestion de la qualité ISO 9001 afin de normaliser davantage le processus de production.

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO2 Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

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
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 6 Technologie de production d'électrodes de zirconium et de tungstène

La technologie de production de l'électrode de zirconium et de tungstène est la clé pour atteindre ses hautes performances et sa haute cohérence, impliquant la technologie de dopage, le frittage à haute température, l'usinage de précision, l'automatisation et la production intelligente, la fabrication verte et les solutions aux problèmes de production. En tant que matériau de base dans la protection contre les gaz inertes au tungstène (soudage TIG) et la découpe plasma, les électrodes en zirconium et tungstène doivent prendre en compte les exigences d'optimisation des performances, de contrôle des coûts et de protection de l'environnement. Ce chapitre explorera en détail les différents aspects de la technologie de production d'électrodes de zirconium et de tungstène, en analysant ses principes de processus, ses technologies clés et ses derniers développements.

6.1 Technologie de dopage de l'électrode de zirconium et de tungstène

La technologie de dopage est un élément essentiel de la production d'électrodes en zirconium et de tungstène, améliorant considérablement la stabilité de l'arc, les performances d'allumage et la résistance à l'épuisement de l'électrode en ajoutant de la zircone (ZrO_2) à la matrice de tungstène de haute pureté. L'objectif de la technologie de dopage est d'obtenir une distribution uniforme de la zircone dans la matrice de tungstène tout en veillant à ce que la composition chimique de l'électrode réponde aux normes internationales (par exemple, ISO 6848 et AWS A5.12).

6.1.1 Méthode de dopage de l'oxyde de zirconium

La méthode de dopage de la zircone affecte directement la microstructure et les propriétés des électrodes de zirconium et de tungstène. Les méthodes de dopage couramment utilisées comprennent le dopage sec, le dopage humide et la coprécipitation chimique, chacune ayant ses propres avantages et adaptée à différents besoins de production et grades d'électrodes (par exemple, WZ3, WZ8).

Dopage par voie sèche

Le dopage à sec est le processus de dopage de poudre de tungstène de haute pureté avec de la poudre de zircone par mélange mécanique. L'équipement de mélange est généralement un mélangeur à grande vitesse, un mélangeur en V ou un broyeur à boulets planétaire, et l'environnement de fonctionnement nécessite un gaz inerte (tel que l'argon ou l'azote) pour empêcher l'oxydation de la poudre. Le processus de dopage à sec comprend :

Préparation de la matière première : Une poudre de tungstène d'une pureté de > de 99,95 % (taille de particule de 3 à 5 μm) et d'une pureté de > de poudre de zircone à 99,9 % (taille de particule de 0,1 à 1 μm) a été sélectionnée.
Mélange : Pesez les ingrédients dans le rapport cible (par exemple 0,3 % de ZrO_2 pour le WZ3 et 0,8 % de ZrO_2 pour le WZ8) et mélangez à l'aide d'un mélangeur à grande vitesse pendant 2 à 4 heures à une vitesse de mélange de 100 à 300 tr/min.
Tamissage : La poudre mélangée est éliminée par un tamis vibrant (trou de tamis < 10 μm) pour éliminer les particules agglomérées, assurant ainsi une taille de particule uniforme.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Les avantages du dopage à sec sont un processus simple et un faible coût, ce qui le rend adapté à la production de gros volumes. Cependant, son uniformité est limitée par l'efficacité du mélange mécanique et il est sujet à l'agrégation locale de particules de zircone, ce qui affecte les performances de l'électrode.

Dopage par voie humide

Le dopage humide consiste à mélanger de la poudre de tungstène et de la zircone dans un milieu liquide tel que de l'eau déminéralisée ou de l'éthanol, qui est ensuite éliminé par séchage. Les procédés de dopage humide comprennent :

Dispersion : La poudre de tungstène et la poudre de zircone sont ajoutées à un milieu liquide pour former une suspension homogène par dispersion ultrasonique ou agitation à grande vitesse (500 à 1000 tr/min).
Mélange : Assurer une répartition uniforme des particules de zircone par agitation ou broyage à billes (temps de broyage 4 à 8 heures).
Séchage : Le séchage par atomisation ou le séchage sous vide (température < 100°C) permet d'éliminer le milieu liquide afin d'obtenir une poudre mélangée homogène.

L'avantage du dopage humide est qu'il permet d'obtenir une plus grande uniformité de dopage, en particulier pour le dopage à la zircone à l'échelle nanométrique. Cependant, le dopage humide nécessite de contrôler la pureté du milieu liquide pour éviter d'introduire des impuretés, et le processus de séchage peut augmenter la consommation d'énergie.

La méthode de coprécipitation chimique est une technique de dopage avancée qui génère directement des particules de zircone dans une matrice de tungstène par une réaction chimique. Le processus comprend :

Préparation de la solution : Dissoudre le tungstate (comme le paratungstate d'ammonium) dans l'eau et ajouter une solution saline de zircon (comme le chlorure de zirconium ou le nitrate de zirconium).
Coprécipitation : En ajoutant un précipitant (tel que l'ammoniac), les ions tungstène et zirconium sont précipités simultanément pour former un précurseur de tungstène contenant de la zircone.
Calcination : Le précipité est calciné à 800-1000 °C pour produire une poudre de tungstène contenant de la zircone.

L'avantage de la co-précipitation chimique est que l'uniformité du dopage est extrêmement élevée et que les particules de zircone peuvent atteindre l'échelle nanométrique (<100 nm), ce qui améliore considérablement les performances de l'électrode. Cependant, son processus est complexe et coûteux, et il est principalement utilisé dans la production d'électrodes de zirconium et de tungstène haut de gamme.

Autres méthodes de dopage Ces dernières années, les méthodes de pulvérisation sol-gel et plasma ont également été utilisées dans les études de dopage des électrodes de zirconium et de tungstène. La méthode sol-gel permet d'obtenir un dopage à l'échelle nanométrique en préparant des

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

précurseurs de gel contenant du zirconium, tandis que la méthode de pulvérisation au plasma dépose de la zircone sur une matrice de tungstène à travers un plasma à haute température. Ces méthodes conviennent aux électrodes à usage spécial telles que la découpe plasma à courant élevé, mais ne sont pas encore largement utilisées dans la production industrielle.

6.1.2 Contrôle de l'uniformité du dopage

L'uniformité du dopage est la clé de la constance des performances de l'électrode en zirconium-tungstène, ce qui affecte directement la stabilité de l'arc et la durée de vie de l'électrode. Un dopage inégal peut entraîner des variations de performance locales, entraînant une dérive de l'arc ou l'épuisement des électrodes. Le contrôle de l'uniformité du dopage doit commencer par les aspects suivants :

Contrôle de la taille des particules de la matière première : La taille des particules de la poudre de tungstène et de la zircone doit être adaptée, généralement de 3 à 5 μm pour la poudre de tungstène et de 0,1 à 1 μm pour la zircone. Des différences excessives de taille des particules peuvent entraîner un mélange inégal, affectant l'effet de frittage.
Optimisation de l'équipement de mélange : Utilisez des équipements de mélange de haute précision, tels que des broyeurs à boulets planétaires ou des disperseurs à ultrasons, pour assurer une distribution uniforme des particules de zircone. Les temps et les vitesses de mélange doivent être optimisés en fonction des caractéristiques de la poudre, par exemple, le dopage humide nécessite une vitesse de mélange contrôlée de 500 à 1000 tr/min et un temps de mélange de 4 à 6 heures.
Surveillance en ligne : Les analyseurs de taille de particules laser et la microscopie électronique à balayage (MEB) sont utilisés pour surveiller la distribution granulométrique et l'uniformité du mélange des poudres en temps réel. Dans la production moderne, les algorithmes d'IA peuvent être utilisés pour analyser les images MEB et prédire l'uniformité du dopage.
Réglage des paramètres du processus : optimisez la distribution de la zircone en ajustant le temps de mélange, le rapport de média et l'intensité du broyage. Par exemple, des dispersants (tels que l'alcool polyvinylique) peuvent être ajoutés au dopage humide pour améliorer la stabilité de la suspension.
Inspection de la qualité : La poudre mélangée doit être détectée par spectroscopie de fluorescence X (XRF) ou spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) pour s'assurer qu'elle est cohérente avec les grades cibles (par exemple, WZ3, WZ8).

Les progrès récents dans le contrôle de l'uniformité du dopage comprennent des applications nanotechnologiques et des équipements de mélange intelligents. L'introduction de la zircone à l'échelle nanométrique améliore considérablement l'uniformité du dopage, tandis que l'équipement de mélange intelligent améliore encore la cohérence de la production en ajustant les paramètres du processus grâce à un retour d'information en temps réel.

6.2 Technologie de frittage à haute température de l'électrode de zirconium et de tungstène

Le frittage à haute température est un processus clé dans lequel la poudre mélangée est pressée en billettes, puis combinée en ébauches d'électrodes denses par traitement à haute température. La technologie de frittage affecte directement la densité, la microstructure et la stabilité des

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

performances des électrodes en zirconium et tungstène. Le frittage d'électrodes en zirconium et en tungstène se fait généralement à l'aide du frittage sous vide ou du frittage de protection contre l'hydrogène pour éviter l'oxydation du tungstène et assurer une densité élevée.

Équipement de frittage

Le four de frittage à haute température est l'équipement de base du processus de frittage, qui doit disposer de fonctions de contrôle de température et de contrôle d'atmosphère de haute précision. Les équipements couramment utilisés comprennent :

Four de frittage sous vide : vide < 10^{-3} Pa, plage de température 1800-2200°C, adapté à la production d'électrodes de haute pureté.

Four de frittage d'hydrogène : utilise de l'hydrogène de haute pureté (>99,999 %) comme atmosphère protectrice pour empêcher l'oxydation du tungstène, adapté à la production de masse.

Four de frittage par micro-ondes : Une technologie de frittage qui a émergé ces dernières années, elle permet un frittage rapide et uniforme grâce au chauffage par micro-ondes, raccourcissant le temps de frittage (2 à 4 heures).

Procédé de frittage

Le processus de frittage est généralement divisé en trois étapes : le pré-frittage, le frittage principal et la conservation de la chaleur :

Préfrittage (800–1000°C) : Éliminer les impuretés volatiles (par exemple, l'humidité, les lubrifiants) et les gaz adsorbés de la billette pendant 1 à 2 heures.

Frittage principal (1800-2000°C) : Favorise la liaison des particules de tungstène et la formation de phases dispersées de zircone pendant 2 à 4 heures. La température de frittage doit être contrôlée avec précision (±10°C) pour éviter une granulométrie excessive ou des résidus poreux.

Isolation thermique (2000-2200°C) : Garder au chaud pendant 1 à 2 heures pour optimiser la structure cristalline et améliorer la compacité et la stabilité thermique de l'électrode.

Paramètres de frittage

Température : La température de frittage doit être optimisée en fonction de la qualité de l'électrode, et le WZ8 (haute teneur en zircone) doit être à une température plus élevée (2000-2200°C) pour assurer une distribution uniforme des particules de zircone.

Atmosphère : Le frittage sous vide doit maintenir un degré de vide de <10^{-3} Pa, et le frittage d'hydrogène doit contrôler le débit d'hydrogène gazeux (10-50 L/min) pour maintenir l'atmosphère réductrice.

Vitesse de chauffage : généralement 5–10°C/min pour éviter la fissuration de la billette due à un chauffage rapide.

Vitesse de refroidissement : contrôlée à 20-50°C/h pour éviter l'accumulation de contraintes internes.

Effet de frittage

La densité de frittage de l'électrode de tungstène de zirconium de haute qualité peut atteindre 95 % à 98 % de densité théorique et la porosité < 0,5 %. Les particules de zircone forment une phase

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

dispersée stable pendant le frittage, inhibant la croissance des grains de tungstène (taille des grains de 10 à 20 μm). La billette frittée doit être vérifiée pour les défauts internes par une inspection par rayons X ou une inspection par ultrasons pour s'assurer qu'il n'y a pas de fissures ou de pores.

Avancées technologiques Au cours des dernières années, les progrès de la technologie de frittage à haute température comprennent :
Frittage plasma (SPS) : Chauffage rapide avec courant pulsé haute tension (vitesse de chauffage > 100°C/min) pour réduire le temps de frittage et augmenter la densité.
Frittage par micro-ondes : Utilise l'énergie des micro-ondes pour un chauffage uniforme, réduisant la consommation d'énergie et améliorant la microstructure.
Contrôle intelligent : Les systèmes de contrôle par ordinateur et les capteurs sont utilisés pour surveiller la température, l'atmosphère et l'état des billettes en temps réel afin d'optimiser les paramètres de frittage.

L'optimisation de la technologie de frittage à haute température améliore considérablement la constance des performances et l'efficacité de production des électrodes en zirconium-tungstène, fournissant un support de matériau fiable pour le soudage de haute précision.

6.3 Technologie d'usinage de précision de l'électrode de zirconium et de tungstène
La technologie d'usinage de précision est une étape essentielle dans le traitement des billettes frittées en tiges d'électrode qui répondent aux spécifications, y compris des processus tels que l'emboutissage, l'extrusion, la découpe et le meulage. L'objectif de l'usinage de précision est d'obtenir une précision dimensionnelle, une finition de surface et une stabilité de performance élevées des électrodes.

L'emboutissage consiste à étirer progressivement la billette frittée à travers une série de moules pour fabriquer une tige d'électrode mince. L'équipement de tréfilage est une machine d'étirage à plusieurs passes, et le matériau du moule est généralement en carbure ou en diamant pour résister à la dureté élevée du tungstène. Les paramètres du processus d'étirage sont les suivants :

Vitesse d'arrachement : 0,1 à 1 m/min, trop rapide peut provoquer des rayures de surface ou des microfissures internes.
Conception du moule : La taille du trou du moule est progressivement réduite (5 à 10 % à chaque fois) et le diamètre de la billette est réduit de 10 à 20 mm à 1,0 à 6,4 mm au total passe 10 à 20 fois.
Lubrifiants : Utilisez des lubrifiants au graphite ou au disulfure de molybdène pour réduire l'usure du moule et les défauts de surface des électrodes.

La tolérance de diamètre de l'électrode étirée doit être contrôlée à ±0,05 mm et la rugosité de surface doit être de Ra<0,8 μm. La technologie d'emboutissage moderne utilise des systèmes d'asservissement pour ajuster avec précision la vitesse de traction et la tension, améliorant ainsi la cohérence de l'usinage.

L'extrusion est une alternative à l'emboutissage et convient à la production d'électrodes de grand

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

diamètre (>6 mm). L'équipement d'extrusion est une machine d'extrusion hydraulique à haute température, et la billette est extrudée et formée par une matrice à 1200-1500°C. L'avantage du processus d'extrusion est qu'il y a moins de passes de traitement, mais la résistance à haute température du moule est plus élevée. L'électrode extrudée doit être traitée thermiquement pour éliminer les contraintes internes.

La découpe permet de couper de longues tiges d'électrodes après tréfilage ou extrudées en longueurs standard (par exemple 150 mm, 175 mm). Les équipements couramment utilisés comprennent les machines de découpe de fil ou les machines de découpe laser, et la précision de coupe doit être contrôlée à ±1 mm. Utilisez un liquide de refroidissement (tel que de l'eau ou de l'huile) pendant le processus de coupe pour éviter que l'électrode ne surchauffe.

Le meulage est utilisé pour améliorer la finition et la géométrie de la pointe de la surface de l'électrode. L'équipement courant comprend des rectifieuses CNC avec un support de broyage en aluminium ou en suspension diamantée. L'angle de meulage de la pointe (30°-60°) est optimisé en fonction des besoins de soudage, et le soudage AC est généralement obtus (45°-60°) pour améliorer la stabilité de l'arc. La rugosité de surface de l'électrode polie était de Ra<0,4 μm.

Les développements récents dans la technologie d'usinage de précision comprennent :
Traitement au laser : La technologie de découpe et de polissage au laser est utilisée pour obtenir une finition de surface à l'échelle nanométrique et un contrôle dimensionnel de haute précision.
Usinage CNC : Utilise une machine CNC à cinq axes pour usiner des formes d'électrodes complexes pour des besoins de soudage spéciaux.
Modification de surface : Améliorez la résistance de surface grâce au polissage par faisceau d'ions ou au traitement au plasma.

Les progrès de la technologie d'usinage de précision ont considérablement amélioré la précision dimensionnelle et la stabilité des performances des électrodes en zirconium-tungstène, répondant ainsi aux besoins d'application de domaines à forte demande tels que l'aérospatiale et l'industrie nucléaire.

6.4 Automatisation et technologie de production intelligente des électrodes de zirconium et de tungstène

L'automatisation et la technologie de production intelligente constituent l'orientation future de la fabrication d'électrodes de zirconium et de tungstène, améliorant l'efficacité de la production, la cohérence de la qualité et la contrôlabilité des processus grâce à l'introduction d'équipements d'automatisation, de l'Internet industriel des objets et de la technologie de l'intelligence artificielle.

La technologie d'automatisation de la production automatisée couvre tous les aspects de la production d'électrodes de zirconium et de tungstène, notamment :

Manutention des matières premières : Les équipements de pesage et de mélange automatisés, tels que les systèmes de dosage robotisés, garantissent des ratios précis des matières premières, réduisant

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

ainsi les erreurs humaines.
Pressage et formage : La presse isostatique automatique à froid contrôle la pression et le temps de maintien via un automate programmable (PLC) pour améliorer la consistance des billettes.
Frittage : Les fours de frittage automatisés sont équipés de capteurs de température et d'atmosphère pour ajuster les paramètres du processus en temps réel.
Traitement et inspection : Les machines d'emboutissage automatisées et les machines de découpe CNC permettent un traitement de haute précision, et les équipements d'inspection en ligne (tels que les télémètres laser, les détecteurs à rayons X) surveillent la qualité des électrodes en temps réel.

Les configurations typiques des lignes de production automatisées incluent SCADA (Data Acquisition and Monitoring System) et MES (Manufacturing Execution System) pour permettre la surveillance et l'optimisation de l'ensemble du processus grâce à l'intégration des données.

Production intelligente
La production intelligente améliore encore l'efficacité et la qualité de la production grâce à l'intelligence artificielle et à l'analyse du big data :

Optimisation des processus : Les algorithmes d'apprentissage automatique sont utilisés pour analyser les données de production historiques afin de prédire les paramètres optimaux de mélange, de frittage et de traitement. Par exemple, la température de frittage est optimisée grâce au modèle de réseau neuronal, ce qui réduit la consommation d'énergie de 10 à 15 %.
Prédiction de la qualité : La technologie de reconnaissance d'images basée sur l'IA analyse les images MEB pour prédire l'uniformité et le taux de défauts de la microstructure des électrodes.
Diagnostic des pannes : surveillez l'état des appareils à l'aide de capteurs IoT, prédisez les défaillances potentielles et mettez en œuvre une maintenance préventive pour réduire les temps d'arrêt.
Gestion de la chaîne d'approvisionnement : Les systèmes intelligents intègrent l'approvisionnement en matières premières, la planification de la production et la gestion des stocks via ERP (Enterprise Resource Planning) pour améliorer l'efficacité de la production.

L'application de l'automatisation et de la technologie de production intelligente a considérablement réduit les coûts de production et amélioré les performances, la cohérence et la compétitivité du marché des électrodes de zirconium et de tungstène.

6.5 Production verte et technologie de protection de l'environnement des électrodes de zirconium et de tungstène

La production verte et les technologies de protection de l'environnement sont des orientations de développement importantes pour la fabrication d'électrodes de zirconium et de tungstène, visant à réduire la consommation d'énergie, les émissions de déchets et la pollution de l'environnement, et à répondre aux exigences du développement durable.

Optimisation énergétique

Frittage efficace : La technologie de frittage par micro-ondes ou plasma est utilisée pour raccourcir

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

le temps de frittage (2 à 4 heures) et réduire la consommation d'énergie de 20 à 30 %.
Récupération de la chaleur résiduelle : Utilisez la chaleur résiduelle des fours de frittage et des fours de traitement thermique pour fournir de l'énergie à d'autres processus, tels que le séchage ou le préchauffage, améliorant ainsi l'utilisation de l'énergie.
Énergie renouvelable : Certaines entreprises de production utilisent l'énergie solaire ou éolienne pour alimenter et réduire les émissions de carbone.

Recyclage de la ferraille

Recyclage de la poudre de tungstène : Les déchets de tungstène en production sont récupérés par des procédés chimiques de purification et de réduction, avec un taux de récupération de plus de 90 %.
Réutilisation de la zircone : La poussière de zircone générée pendant le processus de broyage et de coupe est collectée et repurifiée pour le prochain lot de production.
Traitement des eaux usées : Les eaux usées générées lors du dopage humide et du nettoyage sont filtrées et traitées chimiquement pour éliminer les métaux lourds afin de répondre aux normes de rejet.

Procédé respectueux de l'environnement

Dopage à faible pollution : utiliser le dopage humide sans solvant ou la méthode de co-précipitation chimique pour réduire l'utilisation de solvants organiques.
Production sans poussière : les émissions de poussières (< 10 mg/m³) sont contrôlées à l'aide d'équipements fermés et de systèmes de dépoussiérage efficaces dans le processus de mélange et de broyage.
Emballage écologique : Utilisez des matériaux recyclables (comme du papier ou du plastique dégradable) pour emballer les électrodes afin de réduire la pollution plastique.

La production d'électrodes de zirconium et de tungstène doit être conforme aux réglementations environnementales internationales et nationales, telles que le règlement REACH de l'UE et la loi chinoise sur la protection de l'environnement. Les fabricants doivent effectuer régulièrement des évaluations d'impact sur l'environnement pour s'assurer que le traitement des gaz d'échappement, des eaux usées et des déchets solides est conforme aux normes.

L'application de technologies de production vertes réduit non seulement l'impact environnemental, mais améliore également la responsabilité sociale des entreprises et la compétitivité du marché. Par exemple, les électrodes en zirconium et tungstène fabriquées de manière écologique sont plus populaires sur les marchés européens et américains, répondant aux besoins des clients en matière de produits respectueux de l'environnement.

6.6 Problèmes courants et solutions en production

Le processus de production des électrodes en zirconium et en tungstène peut rencontrer divers problèmes, notamment un dopage inégal, des défauts de frittage, des fissures de traitement et des performances instables. L'analyse suivante des problèmes courants et de leurs solutions :

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Problème 1 : Dopage inégal

Phénomène : Les particules de zircone sont réparties de manière inégale dans la matrice de tungstène, ce qui entraîne des performances incohérentes des électrodes, une dérive de l'arc ou des difficultés d'allumage.

Causes : Temps de mélange insuffisant, grandes différences de taille des particules ou performances insuffisantes de l'équipement.

Solution:

Temps de mélange prolongé (4 à 6 heures) et vitesse de mélange accrue (500 à 1000 tr/min).

Améliorez l'uniformité à l'aide de la zircone à l'échelle nanométrique (<100 nm) ou du dopage humide.

L'effet de dopage a été détecté par l'analyseur de taille de particules en ligne et le MEB, et les paramètres du processus ont été ajustés.

Problème 2 : Défauts de frittage (tels que des pores ou des fissures)

Phénomène : Des pores ou des fissures apparaissent à l'intérieur de la billette frittée, réduisant la densité des électrodes et la résistance mécanique.

Causes : La température de frittage est trop élevée/trop basse, la vitesse de chauffage est trop rapide ou l'atmosphère n'est pas correctement contrôlée.

Solution:

Optimisez la courbe de frittage pour contrôler la vitesse de chauffage (5 à 10 °C/min) et le temps de maintien (1 à 2 heures).

Augmentation de la pureté du vide (<10^{-3} Pa) ou de l'hydrogène (>99,999 %).

Utilisez les rayons X ou les ultrasons pour détecter les défauts des billettes et éliminer les produits non conformes.

Problème 3 : Traitement des fissures

Phénomène : Des microfissures apparaissent à la surface ou à l'intérieur de l'électrode lors de l'emboutissage ou de la coupe, affectant les performances et la longévité.

Cause : La vitesse d'étirage est trop rapide, l'usure du moule ou les contraintes internes ne sont pas éliminées.

Solution:

Réduisez la vitesse de traction (0,1 à 0,5 m/min) et changez régulièrement le moule.

Des étapes de traitement thermique et de recuit sont ajoutées pour éliminer les contraintes internes (température de recuit 1200–1400°C).

La découpe laser est utilisée à la place de la découpe mécanique, ce qui réduit les concentrations de contraintes.

Problème 4 : Performances instables

Phénomène : L'arc de l'électrode est instable ou la durée de vie est raccourcie lors du soudage.

Raisons : Impuretés excessives des matières premières, microstructure inégale ou mauvaise qualité de surface.

Solution:

Renforcer la détection des matières premières et utiliser l'ICP-MS pour contrôler la teneur en

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

impuretés (<0,005 %).
Optimisez le processus de dopage et de frittage pour assurer une distribution uniforme de la zircone et un contrôle de la taille des grains (10 à 20 μm).
Amélioration de la précision du polissage de surface (Ra<0,4 μm) et réduction de l'adhérence des contaminants.

Question 5 : Questions de protection de l'environnement
Phénomène : Émissions excessives de gaz d'échappement, d'eaux usées ou de poussières pendant le processus de production, affectant la conformité.
Causes : Équipement de dépoussiérage inefficace, traitement inadéquat des eaux usées ou consommation d'énergie élevée.
Solution:
Installez un système de dépoussiérage à haut rendement (ex. : filtre HEPA) pour contrôler les émissions de poussières < 10 mg/m³.
Le système de traitement des eaux usées en cycle fermé est utilisé pour récupérer les métaux lourds et les produits chimiques.
Réduire la consommation d'énergie en utilisant le frittage par micro-ondes ou les énergies renouvelables.

Grâce à l'optimisation systématique des processus et au contrôle de la qualité, les problèmes ci-dessus peuvent être résolus efficacement, garantissant les performances élevées et l'efficacité de production des électrodes en zirconium et tungstène.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO2 Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

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
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 7 Utilisations des électrodes en zirconium et tungstène

Les électrodes en zirconium et tungstène ont un large éventail d'applications dans l'industrie moderne en raison de leur excellente stabilité d'arc, de leurs performances d'allumage, de leur résistance à l'épuisement et de leur résistance à la pollution. L'électrode de tungstène en zirconium est principalement utilisée dans le soudage au gaz inerte au tungstène (soudage TIG), la découpe au plasma, la pulvérisation au plasma et d'autres procédés, en particulier dans le soudage à courant alternatif (AC), adapté au traitement des métaux légers tels que l'aluminium et le magnésium et leurs alliages. De plus, ses applications dans des domaines de haute précision tels que l'aérospatiale, l'industrie nucléaire, la fabrication d'équipements médicaux et les environnements spéciaux sont également en augmentation. Ce chapitre explorera en détail les différentes utilisations des électrodes de zirconium et de tungstène, analysera leurs performances spécifiques dans différents processus et industries, et fournira une analyse approfondie des alternatives et des paysages concurrentiels afin de démontrer de manière exhaustive leur importance dans l'industrie moderne.

7.1 Application de l'électrode de zirconium et de tungstène dans le soudage TIG

Le soudage sous gaz inerte au tungstène (soudage TIG) est le domaine d'application le plus important des électrodes en zirconium et tungstène. Le soudage TIG est largement utilisé dans les scénarios industriels qui nécessitent des soudures de haute qualité, tels que l'aérospatiale, la construction automobile, l'industrie de la construction navale et la fabrication d'instruments de précision, en raison de sa haute précision, de l'absence de projections et de l'excellente qualité de soudure. Les électrodes en zirconium et tungstène sont particulièrement adaptées au soudage de matériaux tels que l'aluminium, les alliages de magnésium et l'acier inoxydable en raison de leurs excellentes performances dans le soudage AC, ce qui en fait l'une des électrodes préférées dans le soudage TIG.

7.1.1 Soudage de l'aluminium et des alliages d'aluminium

L'aluminium et les alliages d'aluminium sont largement utilisés dans l'aérospatiale, la construction automobile, l'industrie de la construction navale et les industries de la construction en raison de leur légèreté, de leur rapport résistance/poids élevé, de leur bonne conductivité thermique et de leur résistance à la corrosion. Cependant, le soudage de l'aluminium présente des défis techniques importants, principalement en raison de la formation d'un film d'alumine (Al_2O_3) à sa surface. Le point de fusion de l'alumine est aussi élevé que 2050 °C, ce qui est beaucoup plus élevé que celui de l'aluminium (environ 660 °C), et a une stabilité chimique élevée, ce qui peut facilement entraîner des défauts tels que l'instabilité de l'arc, la porosité de la soudure ou la non-fusion. Les électrodes en zirconium et tungstène présentent d'excellentes performances dans le soudage TIG AC de l'aluminium et des alliages d'aluminium, et leurs avantages se reflètent dans les aspects suivants :

Stabilité de l'arc : L'électrode en tungstène de zirconium réduit le travail d'échappement des électrons (environ 2,7 à 3,0 eV, nettement inférieur aux 4,5 eV du tungstène pur) dopé à la zircone (ZrO_2), de sorte que l'arc reste stable lors de la commutation semi-circonférentielle positive et négative AC. La demi-circonférence positive de la soudure AC (l'électrode est l'anode) a un « effet nettoyant » qui élimine efficacement le film d'oxyde de la surface de l'aluminium, tandis que la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

concentration de l'arc de l'électrode de zirconium et de tungstène garantit la qualité de la soudure. L'électrode WZ8 (contenant 0,7 % à 0,9 % de ZrO_2) peut former un arc conique à courant élevé (150 à 400 A), ce qui convient au soudage d'alliages d'aluminium épais (tels que les séries 5xxx, 6xxx, épaisseur > 5 mm) ; L'électrode WZ3 avec 0,15 % à 0,4 % de ZrO_2 est mieux adaptée aux courants faibles à moyens (50 à 150 A) pour le soudage de tôles (< 3 mm d'épaisseur).

Performances d'allumage : La faible puissance d'échappement d'électrons des électrodes en zirconium-tungstène leur permet de s'enflammer rapidement dans les arcs alternatifs à haute fréquence, et la tension d'allumage est généralement inférieure à 50 V, ce qui réduit considérablement la probabilité d'échec de l'allumage. Ceci est particulièrement important pour le soudage TIG automatisé, qui augmente la productivité et réduit les pertes d'équipement. Par exemple, lors du soudage de tôles en alliage d'aluminium, l'allumage rapide de l'électrode WZ3 évite la surchauffe locale causée par des allumages multiples.

Capacité de résistance aux brûlures : Le point de fusion élevé de l'électrode de zirconium et de tungstène (environ 3422 °C, proche du tungstène pur) et la protection en phase dispersée de la zircone lui permettent de maintenir la forme de la pointe dans les arcs à haute température (au-dessus de 6000 °C) et de réduire l'épuisement. La durée de vie des électrodes WZ8 peut atteindre 2 à 3 fois celle des électrodes en tungstène pur lors de soudages à long terme à des courants élevés, ce qui réduit considérablement la fréquence de remplacement des électrodes et les coûts de production.

Capacité anti-contamination : Dans le soudage des alliages d'aluminium, les oxydes d'aluminium et autres impuretés volatiles sont faciles à adhérer à la pointe de l'électrode, entraînant une instabilité de l'arc. La stabilité chimique des électrodes en zirconium et tungstène rend leurs surfaces moins susceptibles de réagir avec les oxydes, ce qui permet de garder l'arc propre et de réduire les défauts de soudure. Les électrodes WZ8 peuvent maintenir des performances stables dans des environnements très humides ou complexes.

Cas d'application :

Industrie automobile : Les alliages d'aluminium (tels que 5083, 6061) sont largement utilisés dans la fabrication de véhicules à énergie nouvelle et de véhicules légers, y compris les châssis de carrosserie et les boîtiers de batterie. L'électrode de zirconium et de tungstène (WZ8) assure des soudures à haute résistance et sans défaut dans le soudage TIG. Par exemple, la soudure de la carrosserie en alliage d'aluminium de la Tesla Model Y utilise des électrodes WZ8, ce qui améliore considérablement l'efficacité de la production et la qualité de la soudure.

Industrie maritime : Les coques en alliage d'aluminium (telles que 5083-H116) doivent être résistantes à la corrosion par l'eau de mer, et le soudage TIG nécessite des soudures de haute qualité pour assurer la résistance structurelle. La capacité anti-pollution des électrodes de zirconium et de tungstène les rend excellentes dans les environnements salés et très humides, et sont largement utilisées dans la fabrication de yachts de luxe et de navires militaires.

Aérospatiale : Les alliages d'aluminium (par exemple, 7075, 2024) sont utilisés dans les structures de fuselage et d'aile des avions, nécessitant une résistance aux soudures et une qualité de surface

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

extrêmement élevées. Les électrodes en zirconium et tungstène (WZ8) sont largement utilisées dans le soudage de composants en alliage d'aluminium dans les Boeing 787 et Airbus A350, et leur stabilité à l'arc et leur résistance à l'épuisement répondent aux exigences strictes du secteur aérospatial.
Architecture et décoration : Les murs-rideaux en alliage d'aluminium et les composants structurels (tels que l'alliage 6063) sont largement utilisés dans la construction moderne, et l'électrode de tungstène de zirconium (WZ3) est utilisée pour le soudage de plaques minces, assurant des soudures esthétiques et sans projections.

Paramètres du processus :
Type de courant : Courant alternatif (AC), l'onde carrée AC peut optimiser davantage la stabilité de l'arc.
Plage de courant : 50-150 A (WZ3, tôle) ou 150-400 A (WZ8, plaque).
Diamètre de l'électrode : 1,6 à 2,4 mm (plaque mince) ou 2,4 à 3,2 mm (plaque épaisse).
Angle de pointe : 45°–60° pour optimiser la concentration de l'arc.
Gaz de protection : argon de haute pureté (>99,99 %) ou mélange argon-hélium (70 % argon + 30 % hélium), débit 10–20 L/min.
Vitesse de soudage : 0,1 à 0,5 m/min, en fonction de l'épaisseur du matériau et du réglage de l'équipement.

Le soudage de l'aluminium et des alliages d'aluminium est le principal domaine d'application des électrodes de zirconium et de tungstène, et ses excellentes performances améliorent considérablement la qualité de la soudure et l'efficacité de la production.

7.1.2 Soudage de l'acier inoxydable et des alliages de magnésium

L'acier inoxydable et les alliages de magnésium sont des matériaux courants pour le soudage TIG et sont largement utilisés dans les industries des dispositifs médicaux, de la chimie, de l'aérospatiale et de l'automobile. Les électrodes en zirconium et tungstène présentent une bonne adaptabilité dans le soudage AC et courant continu (DC) de ces matériaux, en particulier dans le soudage AC.

L'acier inoxydable soudé (tel que 304, 316L, 430) est largement utilisé dans les équipements de transformation des aliments, les dispositifs médicaux, les pipelines chimiques et les structures de construction en raison de son excellente résistance à la corrosion et de ses propriétés mécaniques. Les électrodes en zirconium et tungstène offrent les avantages suivants dans le soudage TIG de l'acier inoxydable, en particulier le soudage AC :

Stabilité de l'arc : Les électrodes en zinc-tungstène fournissent un arc stable dans le soudage AC, réduisant la porosité, les fissures et les inclusions d'oxyde dans la soudure. L'action nettoyante de la demi-circonférence positive AC peut éliminer efficacement l'oxyde de chrome (Cr_2O_3) et d'autres impuretés de la surface de l'acier inoxydable, garantissant ainsi la propreté de la soudure. L'électrode WZ3 convient aux courants faibles à moyens (50-150 A) pour le soudage de précision de tôles minces d'acier inoxydable (par exemple, < 2 mm d'épaisseur) ; L'électrode WZ8 est adaptée aux courants élevés (150-300 A) pour le soudage de plaques épaisses.

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Performance d'allumage : La faible tension d'allumage et les caractéristiques d'allumage rapide des électrodes en zirconium-tungstène réduisent les interruptions d'arc pendant le soudage, en particulier dans le soudage AC à haute fréquence. Ceci est crucial pour les lignes de soudage automatisées, telles que la production de tuyaux en acier inoxydable.

Capacité anti-contamination : Des oxydes de chrome ou d'autres impuretés volatiles peuvent être produits dans le soudage de l'acier inoxydable, et la stabilité chimique de l'électrode de zirconium et de tungstène rend sa surface moins sensible à la contamination et maintient la stabilité de l'arc. Les électrodes WZ8 maintiennent leurs performances dans des environnements complexes tels que des environnements très humides ou huileux.

Capacité de résistance aux brûlures : les électrodes en zirconium et tungstène peuvent résister à des chocs à haute température d'une demi-circonférence positive dans le soudage AC, réduisant l'épuisement de la pointe et prolongeant la durée de vie. Par exemple, les électrodes WZ8 peuvent durer plus de deux fois plus longtemps que les électrodes en tungstène pur en soudage continu.

Cas d'application :

Dispositifs médicaux : L'acier inoxydable 316L est utilisé dans la fabrication d'instruments chirurgicaux et d'implants, nécessitant des soudures lisses et sans projections. L'électrode de zirconium et de tungstène (WZ3) assure une haute précision et des soudures de qualité dans le soudage TIG, répondant aux normes d'hygiène strictes de l'industrie médicale.

Industrie chimique : les tuyaux en acier inoxydable 304 sont utilisés pour transporter des liquides corrosifs, et l'électrode de tungstène de zirconium (WZ8) offre des propriétés stables d'arc électrique et anti-salissure dans le soudage de tuyaux à paroi épaisse, assurant la résistance à la corrosion des soudures.

Transformation des aliments : Les récipients en acier inoxydable (tels que les réservoirs de stockage et les agitateurs) doivent répondre aux normes de sécurité alimentaire, et la capacité anti-contamination des électrodes en zirconium et tungstène évite la contamination des soudures et améliore l'efficacité de la production.

Les alliages de magnésium (par exemple, AZ31, AZ91, WE43) sont de plus en plus utilisés dans les industries de l'aérospatiale, de l'automobile et de l'électronique en raison de leur densité extrêmement faible (environ 1,74 g/cm³) et de leur rapport résistance/poids élevé. Cependant, le faible point de fusion des alliages de magnésium (environ 650 °C), leur activité chimique élevée et la formation facile de films d'oxyde de magnésium (MgO, point de fusion d'environ 2852 °C) les rendent difficiles à souder. Les électrodes en zirconium et tungstène excellent dans le soudage TIG AC des alliages de magnésium :

Contrôle de l'arc : L'arc concentré des électrodes de zirconium et de tungstène permet un contrôle précis de l'apport de chaleur, évitant ainsi la surchauffe ou la brûlure des alliages de magnésium. L'électrode WZ3 convient aux tôles minces d'alliage de magnésium (<3 mm d'épaisseur) et l'électrode WZ8 convient au soudage de plaques épaisses (>5 mm d'épaisseur) ou à courant élevé (150-250 A).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Résistance à l'oxydation : Les électrodes en zinc-tungstène résistent à la contamination par l'oxyde de magnésium et maintiennent la stabilité de l'arc dans le soudage d'alliages de magnésium. Sa finition de surface (Ra<0,4 µm) réduit encore l'attachement aux contaminants.
Performance d'allumage : Les électrodes en zinc-tungstène s'enflamment rapidement dans les arcs alternatifs à haute fréquence, réduisant les défauts de soudure causés par les difficultés d'allumage, particulièrement adaptées au soudage automatisé.
Résistance à l'épuisement : La résistance élevée à l'épuisement des électrodes en zirconium et tungstène leur permet de résister à l'environnement à haute température du soudage en alliage de magnésium dans le soudage AC, prolongeant ainsi la durée de vie de l'électrode.

Cas d'application :
Aérospatiale : Les alliages de magnésium sont utilisés pour créer des pièces structurelles de satellites, des cadres de drones et des composants d'hélicoptères. L'électrode de zirconium et de tungstène (WZ8) assure des soudures à haute résistance et sans défaut dans le soudage TIG. Par exemple, certaines pièces structurelles de la fusée Starship de SpaceX sont soudées avec un alliage de magnésium, et les électrodes de zirconium et de tungstène sont un choix courant.
Industrie automobile : Les roues et les composants de suspension en magnésium sont utilisés dans les conceptions automobiles légères, et les électrodes en zirconium et tungstène (WZ3) fournissent des soudures de haute qualité dans le soudage de feuilles.
Industrie électronique : Les boîtiers en alliage de magnésium sont utilisés dans les ordinateurs portables et les téléphones portables, et les électrodes en zirconium et tungstène assurent l'esthétique et la résistance structurelle dans le soudage de précision.

Paramètres du processus :
Type de courant : Courant alternatif (AC) ou courant continu (DCEN, selon les exigences en matière de matériaux et d'équipements).
Plage de courant : 50-150 A (WZ3, alliage acier inoxydable/tôle de magnésium) ou 150-300 A (WZ8, tôle épaisse).
Diamètre de l'électrode : 1,6 à 2,4 mm (plaque mince) ou 2,4 à 3,2 mm (plaque épaisse).
Angle de pointe : 30°-60°, le soudage des plaques minces est biaisé vers un angle aigu (30°-45°), la tôle épaisse est biaisée vers un angle obtus (45°-60°).
Gaz de protection : argon ou mélange argon-hélium (70 % argon + 30 % hélium), débit 12–20 L/min.
Vitesse de soudage : 0,1 à 0,4 m/min, en fonction de l'épaisseur du matériau et de l'optimisation du processus.

Les excellentes propriétés des électrodes de zirconium et de tungstène dans le soudage de l'acier inoxydable et des alliages de magnésium en font une position importante dans le soudage de matériaux complexes et de haute précision, répondant aux exigences strictes de divers domaines industriels.

7.2 Application de l'électrode de zirconium et de tungstène dans la découpe et la pulvérisation au plasma

La découpe plasma et la pulvérisation plasma sont des domaines d'application importants pour les

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

électrodes en zirconium-tungstène, impliquant la génération et le contrôle d'arcs plasma à haute température. Les électrodes en zirconium et tungstène sont idéales pour ces processus à haute résistance en raison de leur haute résistance à l'épuisement, de la stabilité de l'arc et de la résistance à la contamination.

Découpe plasma

La découpe plasma utilise un arc plasma à haute température (la température peut atteindre plus de 20 000 °C) pour fondre et souffler les matériaux métalliques, largement utilisés dans la découpe de l'acier, des alliages d'aluminium, de l'acier inoxydable et des alliages de cuivre, adaptés à la construction navale, à la construction, à la construction automobile et aux industries de la machinerie lourde. L'électrode de tungstène de zirconium agit comme une cathode dans la découpe plasma, fournissant un arc plasma stable avec des avantages de performance tels que :

Stabilité de l'arc : L'électrode de tungstène de zirconium (WZ8) est capable de former un arc plasma stable à des courants élevés (100-500 A), réduisant ainsi la dérive de la colonne d'arc et assurant un bord de coupe plat (rugosité Ra<25 μm). Sa concentration d'arc convient à la découpe de plaques épaisses (20 à 50 mm d'épaisseur) ou de formes complexes.

Résistance aux brûlures : Le point de fusion élevé des électrodes en zirconium et en tungstène et l'effet protecteur de la zircone leur permettent de conserver la forme de la pointe dans des environnements plasma à haute température, réduisant ainsi les dommages causés par l'épuisement. L'électrode WZ8 peut durer jusqu'à 2 à 3 fois plus longtemps que les électrodes en tungstène pur, ce qui réduit les coûts de production.

Résistance à la contamination : Lors de la découpe au plasma, les vapeurs et les oxydes métalliques peuvent contaminer la pointe de l'électrode. La stabilité chimique des électrodes en zirconium et en tungstène rend leur surface moins sujette aux contaminants et maintient la stabilité de l'arc plasma.

Cas d'application :

Industrie navale : Les électrodes en zinc-tungstène sont utilisées pour couper les plaques d'acier de la coque (par exemple, AH36, DH36, épaisseur 30-50 mm), assurant une production élevée et efficace. Par exemple, le chantier naval de Hyundai Heavy Industries utilise des électrodes WZ8 pour la découpe plasma, améliorant ainsi la vitesse et la qualité de coupe.

Fabrication automobile : La découpe plasma de composants de carrosserie en aluminium tels que l'alliage 6061 nécessite une grande précision, et l'électrode de tungstène en zirconium (WZ3) fournit un arc stable à des courants faibles à modérés (100 à 200 A).

Industrie de la construction : Les électrodes en zirconium et tungstène sont utilisées pour la découpe de poutres et de colonnes de structures en acier, assurant des surfaces de coupe lisses et réduisant le traitement ultérieur.

Paramètres du processus :

Type de courant : Courant continu (DCEN).

Plage de courant : 100 à 500 A, en fonction de l'épaisseur du matériau et du réglage de l'équipement.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Diamètre de l'électrode : 2,4 à 4,0 mm.
Gaz de protection : argon, azote ou mélange argon-hydrogène (95 % argon + 5 % hydrogène), débit 20–30 L/min.
Conception de la buse : Les électrodes en zirconium et tungstène doivent être associées à des buses très résistantes à la chaleur (telles que la céramique de zircone) pour assurer la concentration de l'arc plasma.

Pulvérisation de plasma
La pulvérisation plasma fait fondre et pulvérise des matériaux en poudre (tels que la zircone, l'alumine) à la surface du substrat à travers un arc plasma à haute température (température 10 000-20 000 °C) pour former un revêtement résistant à l'usure, aux hautes températures ou à la corrosion, largement utilisé dans les moteurs d'avion, les turbines à gaz et la fabrication d'implants médicaux. Les électrodes en zirconium et tungstène agissent comme des cathodes dans la pulvérisation de plasma, fournissant un arc plasma stable avec des avantages en termes de performances, notamment :

Stabilité de l'arc : les électrodes WZ8 sont capables de former des arcs plasma uniformes à des courants élevés (300 à 600 A), assurant une épaisseur de revêtement constante (généralement de 0,1 à 1 mm) et une structure uniforme.

Résistance à l'épuisement : les électrodes en zinc-tungstène peuvent résister à de longues heures de fonctionnement dans des environnements plasma à haute température, réduisant ainsi l'épuisement des pointes et la fréquence de remplacement des électrodes. Par exemple, l'électrode WZ8 peut durer plus de 100 heures en pulvérisation continue.

Résistance à la contamination : Dans la pulvérisation plasma, les matériaux en poudre tels que les particules de zircone peuvent adhérer à la pointe de l'électrode. La finition de surface et la stabilité chimique des électrodes en zirconium-tungstène réduisent les effets de contamination et maintiennent la qualité de pulvérisation.

Cas d'application :
Aérospatiale : Les électrodes en zirconium et en tungstène sont utilisées pour pulvériser des revêtements céramiques (tels que la zircone) sur les surfaces des pales de turbine afin d'améliorer la résistance aux hautes températures. Par exemple, la pulvérisation des pales de turbo des moteurs d'avion GE utilise des électrodes WZ8 pour assurer l'uniformité et la durabilité du revêtement.
Industrie de l'énergie : Les électrodes en zirconium et en tungstène sont utilisées pour pulvériser des revêtements résistants à l'usure sur les tuyaux de chaudière ou les composants de turbines à gaz, prolongeant ainsi la durée de vie de l'équipement.
Industrie médicale : Les électrodes en zinc-tungstène sont utilisées pour pulvériser des revêtements biocompatibles (tels que l'hydroxyapatite) sur les surfaces des implants orthopédiques, améliorant ainsi leur résistance à la corrosion et leur biocompatibilité.

Paramètres du processus :
Type de courant : Courant continu (DCEN).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Plage de courant : 300-600 A.
Diamètre de l'électrode : 3,2 à 4,8 mm.
Gaz de protection : argon ou mélange argon-hélium (70 % argon + 30 % hélium), débit 30–50 L/min.
Matériau en poudre : poudre de zircone, d'alumine ou d'alliage métallique d'une taille de particule de 20 à 100 μm.

L'excellente performance des électrodes de zirconium et de tungstène dans la découpe et la pulvérisation au plasma en fait des matériaux indispensables pour les processus à haute résistance et de haute précision, favorisant le progrès technologique et l'amélioration de l'efficacité dans les industries connexes.

7.3 Autres applications industrielles des électrodes de zirconium et de tungstène

Les applications des électrodes de zirconium et de tungstène ne se limitent pas au soudage TIG et aux procédés plasma, mais jouent également un rôle important dans les domaines de haute technologie tels que l'aérospatiale, l'industrie nucléaire et la fabrication de dispositifs médicaux. Ces domaines ont des exigences de performance extrêmement élevées, et les électrodes en zirconium-tungstène sont largement utilisées en raison de leur grande fiabilité, de leur résistance à l'épuisement et de leurs capacités anti-contamination.

7.3.1 Aérospatiale

Le secteur aérospatial a des exigences extrêmement strictes en matière de matériaux et de procédés de soudage, impliquant des matériaux légers à haute résistance (par exemple, alliages d'aluminium, alliages de magnésium, alliages de titane) et des structures complexes (par exemple, le fuselage d'avion, les composants de moteur). Les électrodes en zirconium et tungstène ont des applications importantes dans le soudage TIG et la pulvérisation plasma dans le secteur aérospatial, avec des avantages tels que :

Soudage de haute précision : Les composants aérospatiaux (tels que le fuselage en alliage d'aluminium du Boeing 787 et les pièces structurelles en alliage de magnésium de l'Airbus A350) nécessitent des soudures sans défaut et une résistance élevée. L'électrode de tungstène en zirconium (WZ8) offre une capacité stable d'amorçage d'arc et anti-contamination dans le soudage TIG AC, garantissant la qualité de la soudure. Par exemple, dans la soudure de la peau en alliage d'aluminium de l'aile du Boeing 737, l'électrode WZ8 peut résister à des courants élevés (200-300 A) et maintenir la stabilité de l'arc.
Pulvérisation de plasma : Les aubes de turbine des moteurs d'avion doivent être pulvérisées avec des revêtements céramiques résistants aux hautes températures (tels que la zircone ou l'oxyde d'yttrium), et les électrodes en tungstène de zirconium fournissent un arc plasma stable dans la pulvérisation de plasma, assurant l'uniformité et l'adhérence du revêtement. Par exemple, la pulvérisation des pales des moteurs Rolls-Royce Trent XWB utilise largement des électrodes WZ8.
Matériaux légers : Les alliages de magnésium et d'aluminium sont de plus en plus utilisés dans l'aérospatiale, et les capacités anti-contamination et les propriétés de contrôle d'arc des électrodes de zirconium et de tungstène les rendent excellentes pour le soudage de ces matériaux. Par exemple, la fusée Starship de SpaceX utilise des pièces structurelles en alliage de magnésium, et des

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

électrodes en zirconium et en tungstène garantissent des soudures de haute qualité en soudage TIG.

Cas d'application :

Fabrication d'aéronefs : Les électrodes en zinc-tungstène sont utilisées dans le soudage des fuselages et des ailes en alliage d'aluminium des avions Boeing et Airbus, assurant la résistance structurelle et la résistance à la corrosion.

Fabrication de fusées : Les électrodes en tungstène de zirconium sont largement utilisées dans le soudage de composants de fusées pour SpaceX et Blue Origin, répondant aux exigences de haute fiabilité et de légèreté.

Fabrication de satellites : Des électrodes en zinc-tungstène sont utilisées pour souder le cadre en alliage de magnésium des satellites et le revêtement céramique des réflecteurs d'antenne de pulvérisation de plasma.

7.3.2 Industrie nucléaire

L'industrie nucléaire impose des exigences extrêmement élevées aux matériaux et aux procédés de soudage, impliquant des températures élevées, des radiations élevées et des environnements hautement corrosifs. Les électrodes en zirconium et tungstène ont des applications importantes dans le soudage et la pulvérisation plasma des composants de réacteurs nucléaires, et leurs avantages comprennent :

Résistance à la corrosion : Les cuves et les pipelines des réacteurs nucléaires utilisent souvent de l'acier inoxydable ou des alliages de zirconium, et les électrodes en zirconium et en tungstène peuvent résister à la contamination par l'oxyde dans les environnements corrosifs et maintenir la stabilité de l'arc dans le soudage TIG. Par exemple, l'électrode WZ8 fournit des soudures de haute qualité dans le soudage de récipients sous pression en acier inoxydable 316L.

Haute fiabilité : l'industrie nucléaire n'exige aucun défaut ni fissure dans les soudures, et la stabilité de l'arc et la résistance à l'épuisement des électrodes de zirconium et de tungstène répondent à ces exigences.

Pulvérisation plasma : Les matériaux de blindage et les composants à haute température des réacteurs nucléaires doivent être recouverts de revêtements céramiques, et les électrodes en zirconium et tungstène garantissent l'uniformité et la durabilité du revêtement lors de la pulvérisation plasma.

Cas d'application :

Composants du réacteur : Des électrodes en zinc-tungstène sont utilisées pour souder le boîtier des barres de combustible en alliage de zirconium et les tuyaux de refroidissement en acier inoxydable des réacteurs nucléaires, garantissant ainsi une fiabilité à long terme.

Matériaux de blindage : Les électrodes en zinc-tungstène sont utilisées dans la pulvérisation de plasma pour créer des revêtements de blindage en céramique pour les réacteurs nucléaires, améliorant ainsi la résistance aux hautes températures et aux radiations.

Manipulation des déchets nucléaires : Des électrodes en zirconium et en tungstène sont utilisées

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

pour souder le boîtier en acier inoxydable des conteneurs de stockage de déchets nucléaires, assurant ainsi leur étanchéité et leur résistance à la corrosion.

7.3.3 Fabrication d'instruments médicaux

La fabrication de dispositifs médicaux impose des exigences extrêmes aux processus de soudage, impliquant une grande précision, l'absence de contamination et la biocompatibilité. Les électrodes en zirconium et tungstène excellent dans le soudage TIG et la pulvérisation plasma dans la fabrication de dispositifs médicaux, avec des avantages tels que :

Soudage de haute précision : Les dispositifs médicaux (tels que les instruments chirurgicaux, les implants) utilisent souvent de l'acier inoxydable 316L ou un alliage de titane, et l'électrode de zirconium et de tungstène (WZ3) fournit des soudures stables sans arc et sans projections dans le soudage de feuilles, garantissant des surfaces lisses et des normes d'hygiène. Par exemple, le boîtier en titane d'un stimulateur cardiaque est soudé avec des électrodes WZ3.
Capacité anti-contamination : Le soudage d'équipements médicaux exige que la soudure soit exempte d'impuretés et d'oxydes, et la capacité anti-pollution de l'électrode de zirconium et de tungstène évite la contamination de la soudure par des polluants et répond à des normes médicales strictes.
Pulvérisation de plasma : Les électrodes en zirconium et tungstène sont utilisées pour pulvériser des revêtements biocompatibles (tels que l'hydroxyapatite) pour les implants orthopédiques, assurant ainsi l'uniformité et la biocompatibilité du revêtement. Par exemple, le processus de pulvérisation des implants de hanche utilise des électrodes WZ8.

Cas d'application :

Instruments chirurgicaux : Les électrodes en zinc-tungstène sont utilisées pour souder les scalpels et les pinces en acier inoxydable, assurant des soudures lisses et non toxiques.
Implants : Les électrodes en zinc-tungstène offrent une précision et une fiabilité élevées dans le soudage et la pulvérisation plasma d'implants osseux en titane.
Équipement de diagnostic : Les électrodes en zinc-tungstène sont utilisées pour le soudage de boîtiers en acier inoxydable pour les appareils à rayons X et les scanners CT, assurant la résistance structurelle et la résistance à la corrosion.

7.4 Application de l'électrode de tungstène de zirconium dans des environnements spéciaux

L'application d'électrodes en zirconium et tungstène dans des environnements spéciaux, tels qu'une humidité élevée, des températures élevées, des radiations élevées ou des environnements contenant des gaz corrosifs, démontre leur adaptabilité et leur fiabilité exceptionnelles. Ces environnements imposent des exigences plus élevées en matière d'anti-contamination, de brûlure et de stabilité chimique de l'électrode.

Environnements à forte humidité : Dans l'ingénierie maritime et la construction navale, les environnements de soudage peuvent avoir une humidité élevée (>80 %) et un brouillard salin. La résistance à la contamination et la stabilité chimique des électrodes en zirconium et tungstène leur permettent de maintenir la stabilité de l'arc dans ces environnements. Par exemple, les électrodes

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

WZ8 excellent dans le soudage TIG de structures en alliage d'aluminium sur des plates-formes offshore, résistant à la corrosion du brouillard salin de l'eau de mer.
Environnement à haute température : L'environnement à haute température (>10 000 °C) dans la découpe et la pulvérisation au plasma impose des exigences extrêmement élevées en matière de résistance à l'épuisement de l'électrode. La couche protectrice en zircone de l'électrode de zirconium et de tungstène (WZ8) peut réduire efficacement l'épuisement des pointes et prolonger la durée de vie. Par exemple, dans la pulvérisation d'aubes de turbines à gaz, l'électrode WZ8 fonctionne dans un arc plasma à haute température pendant plus de 100 heures.
Environnements à fort rayonnement : Les processus de soudage et de pulvérisation dans l'industrie nucléaire peuvent impliquer des environnements à fort rayonnement, et la non-radioactivité et la grande fiabilité des électrodes de zirconium et de tungstène en font des choix idéaux. Par exemple, les électrodes WZ8 sont capables de résister aux effets des environnements radioactifs lors de la pulvérisation de matériaux de blindage de réacteur nucléaire.
Environnements gazeux corrosifs : Le soudage dans l'industrie chimique peut impliquer des environnements contenant du chlore ou des sulfures, et la stabilité chimique des électrodes en zirconium et en tungstène les rend résistantes aux gaz corrosifs. Par exemple, l'électrode WZ3 maintient des performances d'arc stables dans le soudage en acier inoxydable de tuyaux de chlore.

Optimisation des processus :
Gaz protecteur : Dans des environnements spéciaux, utilisez de l'argon de haute pureté ou des mélanges argon-hélium (débit de 15 à 25 L/min) pour une meilleure protection des électrodes.
Sélection de l'électrode : le WZ8 est préféré pour les environnements à courant élevé et à haute intensité, et le WZ3 est sélectionné pour le soudage à faible courant ou à plaque mince.
Conception de la pointe : Dans des environnements spéciaux, des pointes à angle obtus (45°-60°) peuvent être utilisées pour améliorer la stabilité de l'arc.

L'excellente performance des électrodes en zirconium-tungstène dans des environnements spéciaux les rend irremplaçables dans les applications industrielles dans des conditions extrêmes.

7.5 Solutions de rechange et analyse concurrentielle des électrodes de zirconium et de tungstène

Bien que les électrodes en zirconium et en tungstène offrent des avantages significatifs dans les processus de soudage TIG et de plasma, d'autres types d'électrodes en tungstène et de matériaux alternatifs sont également en concurrence dans des scénarios spécifiques. Voici une analyse des alternatives aux électrodes en zirconium-tungstène, de leurs avantages et inconvénients, ainsi que de la situation de la concurrence sur le marché :

Analyse alternative

Électrode de tungstène pur (WP)
Avantages : Les électrodes en tungstène pur sont non dopantes, non radioactives et ont une grande stabilité chimique, ce qui les rend adaptées au soudage en courant continu (CC) à faible courant.
Inconvénients : mauvaise stabilité de l'arc, faibles performances d'allumage, brûlure grave de la

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

pointe et courte durée de vie dans le soudage AC. Les électrodes en tungstène pur sont beaucoup moins performantes que les électrodes en zirconium-tungstène dans le soudage des alliages d'aluminium.
Scénarios applicables: Soudage DC à faible courant (comme les petits composants en acier inoxydable), ne convient pas au soudage de haute précision ou AC.

Électrode de tungstène de thorium (WT20, contenant 1,5 % à 2,0 % de ThO_2).
Avantages: Excellentes performances d'allumage, bonne stabilité de l'arc, adapté au soudage DC, largement utilisé dans le soudage de l'acier au carbone et de l'acier inoxydable.
Inconvénients : L'oxyde de thorium est légèrement radioactif et présente des risques potentiels pour la santé et l'environnement ; Dans le soudage AC, la concentration de l'arc n'est pas aussi bonne que celle des électrodes en zirconium et tungstène.
Scénarios applicables : soudage DC de l'acier à haute résistance, mais il est progressivement remplacé dans les zones où les exigences de protection de l'environnement sont strictes.

Électrode de tungstène cérium (WC20, contenant 2,0 % de CeO_2)
Avantages : Bonne performance d'allumage, non radioactivité, adapté au soudage DC et AC à faible courant, faible coût.
Inconvénients : Dans le soudage AC à courant élevé, la stabilité de l'arc est légèrement inférieure à celle des électrodes en zirconium et tungstène et la durée de vie est plus courte.
Applications : Tâches de soudage de petite à moyenne taille, adaptées aux applications sensibles aux coûts.

Électrodes de tungstène de lanthane (WL15, WL20, contenant 1,0 % à 2,0 % de La_2O_3)
Avantages : excellentes performances d'allumage, longue durée de vie, adapté au soudage DC et AC, fortes performances globales.
Inconvénients : Dans le soudage AC à courant élevé, la concentration de l'arc est légèrement inférieure à celle des électrodes de zirconium et de tungstène, et le coût est plus élevé.
Scénarios applicables : Tâches de soudage générales, en particulier d'excellentes performances dans le soudage DC.

Nouvelle électrode composite
Description : Au cours des dernières années, des institutions de recherche scientifique ont développé des électrodes composites en tungstène dopées avec plusieurs oxydes (tels que La_2O_3+CeO_2+ZrO_2), dans le but de combiner les avantages de diverses électrodes.
Avantages : Excellentes performances globales, peut surpasser les électrodes de zirconium et de tungstène dans des scénarios spécifiques.
Inconvénients : Le processus de production est complexe, le coût est élevé et l'industrialisation à grande échelle n'a pas encore été réalisée.
Scénarios applicables : applications expérimentales ou soudure personnalisée haut de gamme.

Analyse concurrentielle
Positionnement sur le marché : Les électrodes en zirconium et tungstène présentent des avantages

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

uniques dans le soudage TIG AC (en particulier le soudage d'alliages d'aluminium et de magnésium) et les procédés plasma, et ont une part de marché élevée dans le domaine du soudage de haute précision. Les électrodes WZ8 sont pratiquement irremplaçables dans les industries aérospatiale et nucléaire, tandis que les électrodes WZ3 sont largement utilisées dans les petites et moyennes entreprises en raison de leur rentabilité.

Tendances en matière de protection de l'environnement : Avec le renforcement des réglementations environnementales (telles que le règlement REACH de l'UE), les électrodes de tungstène de thorium sont progressivement remplacées par des électrodes de tungstène de zirconium et des électrodes de tungstène de cérium en raison de problèmes de radioactivité. La non-radioactivité et la capacité anti-contamination des électrodes de zirconium et de tungstène les rendent plus compétitives sur les marchés européens et américains.

Coût et performances : Le coût des électrodes en zirconium et en tungstène est supérieur à celui des électrodes en tungstène pur et des électrodes en cérum-tungstène, mais inférieur à celui des électrodes en tungstène au lanthane et des nouvelles électrodes composites. Son rapport performance/coût est avantageux dans le soudage AC de haute précision, mais peut être remplacé par des électrodes de tungstène de cérium ou de tungstène de lanthane dans le soudage DC à faible courant.

Avancées technologiques : La pression concurrentielle des électrodes en zirconium et en tungstène est en partie due au développement de nouvelles électrodes composites et à la nanotechnologie. Par exemple, des électrodes en zirconium et tungstène dopées à la zircone à l'échelle nanométrique sont en cours de développement, ce qui pourrait encore améliorer les performances, mais le coût doit encore être optimisé.

Variations régionales : En Amérique du Nord et en Europe, les électrodes en zirconium et tungstène dominent en raison de leur respect de l'environnement et de leurs hautes performances ; En Chine et dans d'autres parties de l'Asie, les électrodes cérium-tungstène ont une certaine part de marché en raison de leur faible coût, mais les électrodes en zirconium et tungstène dominent toujours les applications haut de gamme.

Tendances futures

Optimisation des performances : Les technologies de nanodopage et de dopage composé sont utilisées pour améliorer la stabilité de l'arc et la durée de vie des électrodes en zirconium-tungstène, améliorant ainsi leur compétitivité dans des courants élevés et des environnements spéciaux.

Fabrication verte : Les technologies vertes et le recyclage des déchets dans la production d'électrodes de zirconium et de tungstène renforceront encore son attractivité sur le marché.

Applications émergentes : Avec le développement de nouvelles sources d'énergie (énergie éolienne, équipements solaires) et de la technologie d'impression 3D, les applications potentielles des électrodes de zirconium et de tungstène dans ces domaines augmenteront leur compétitivité sur le marché.

Autres défis : Le développement de nouvelles électrodes composites et d'électrodes non à base de tungstène (telles que les électrodes à base de carbone) peut constituer une concurrence à long terme pour les électrodes en zirconium-tungstène, mais les électrodes en zirconium-tungstène resteront le premier choix pour le soudage AC de haute précision à court terme.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Les électrodes en zirconium et tungstène occupent une position importante dans le secteur industriel de haute précision grâce à leurs avantages uniques dans les procédés de soudage AC et de plasma. Bien qu'il soit confronté à la concurrence d'alternatives, son équilibre entre performances, respect de l'environnement et coût lui permettra de rester compétitif à l'avenir.

Chapitre 8 Équipement de production d'électrodes de zirconium et de tungstène

La production d'électrodes de zirconium et de tungstène est un processus de haute précision et de haute technologie qui implique de multiples aspects, du traitement des matières premières au traitement du produit fini. Les performances des équipements de production affectent directement la qualité, la cohérence des performances et l'efficacité de production des électrodes en zirconium et tungstène. Ce chapitre explorera en détail les différents types d'équipements utilisés dans la production d'électrodes de zirconium et de tungstène, y compris les équipements de traitement des matières premières, les équipements de pressage et de formage, les équipements de frittage et de traitement thermique, les équipements de traitement de précision, les équipements de test de qualité et les points techniques pour la maintenance et l'optimisation des équipements. La conception, la fonction et les exigences opérationnelles de chaque type d'équipement seront analysées conjointement avec les exigences de production des électrodes en zirconium et tungstène afin de fournir une référence technique complète.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

8.1 Équipement de traitement des matières premières pour électrodes de zirconium et de tungstène

Le traitement des matières premières est la première étape de la production d'électrodes de tungstène de zirconium, impliquant le broyage, le mélange, le criblage et le calibrage de poudre de tungstène de haute pureté et de poudre de zircone (ZrO_2). L'équipement de traitement des matières premières doit garantir une taille de particule uniforme, une uniformité de dopage élevée et éviter la contamination par les impuretés pour répondre aux exigences strictes de composition chimique des électrodes de zirconium et de tungstène (telles que WZ3 et WZ8).

8.1.1 Équipement de broyage et de mélange

Équipement de meulage

L'équipement de broyage est utilisé pour affiner la taille des particules de poudre de tungstène et de poudre de zircone, en optimisant leur morphologie et leur distribution granulométrique afin d'améliorer les résultats ultérieurs de mélange et de frittage. L'équipement de broyage courant comprend :

Broyeurs planétaires à boulets : Les broyeurs planétaires à boulets permettent le raffinement de la poudre grâce à des réservoirs de broyage rotatifs à grande vitesse et des billes de broyage, telles que des billes de zircone ou des billes de tungstène. Les caractéristiques de l'équipement comprennent :
Capacité : 10 à 100 L, adapté à la production de petits et moyens volumes.
Vitesse de rotation : 200-600 tr/min, réglable pour contrôler l'intensité de la mouture.
Supports abrasifs : billes de zircone (2 à 10 mm de diamètre) ou billes de tungstène pour réduire la contamination.
Système de refroidissement : équipé d'un système de refroidissement par eau ou par air pour éviter la surchauffe de la poudre pendant le broyage (contrôle de la température < 50°C).
Applications : Particules de poudre de tungstène de 10 à 20 m à 3 à 5 m, zircone de 1 à 2 m à 0,1 à 0,5 m.

Broyeur à flux d'air : Utilise un flux d'air à grande vitesse (généralement de l'air comprimé ou de l'azote) pour faire entrer en collision les particules de poudre entre elles afin d'obtenir un broyage ultra-fin. Les caractéristiques de l'équipement comprennent :
Contrôle de la taille des particules : la poudre peut être raffinée au niveau submicronique (<1 μm), ce qui convient à la préparation de zircone à l'échelle nanométrique.
Pas de pollution : Pas de média abrasif, réduisant l'introduction d'impuretés.
Efficacité : Débit unique jusqu'à 1 à 10 kg, adapté à la production en grand volume.

Broyeur à boulets vibrant : Le broyage de la poudre est réalisé par des vibrations à haute fréquence, adaptées à la production expérimentale en petits lots. Les caractéristiques de l'équipement comprennent une faible consommation d'énergie et une facilité d'utilisation, mais l'efficacité du broyage est inférieure à celle des broyeurs à boulets planétaires.

Le choix de l'équipement de broyage doit être déterminé en fonction de l'échelle de production et des exigences relatives à la taille des particules de poudre. Par exemple, la production d'électrodes

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

de zirconium et de tungstène haut de gamme (comme le WZ8) a tendance à utiliser des broyeurs à flux d'air pour réaliser un broyage de zircone à l'échelle nanométrique, tandis que les petites et moyennes productions peuvent utiliser des broyeurs à boulets planétaires.

Équipement de mélange
L'équipement de mélange est utilisé pour mélanger la poudre de tungstène et la poudre de zircone en proportion (par exemple 0,3 % de ZrO_2 pour le WZ3 et 0,8 % de ZrO_2 pour le WZ8) afin d'assurer l'uniformité du dopage. L'équipement de mélange courant comprend :

V-Mixer : Le mélange de poudre est réalisé en tournant le récipient en forme de V, adapté au dopage à sec. Les caractéristiques de l'équipement comprennent :
Capacité : 50 à 500 L, adapté aux moyennes et grandes productions.
Temps de mélange : 2 à 4 heures, uniformité du mélange > 99 %.
Contrôle de l'atmosphère : Équipé d'un système de protection contre les gaz inertes (par exemple, l'argon) pour empêcher l'oxydation de la poudre.

Mélangeurs à grande vitesse : Le mélange des poudres est réalisé au moyen de palettes de mélange à grande vitesse (500-1000 tr/min), adaptées au dopage sec et humide. Les caractéristiques de l'équipement comprennent :
Mélange efficace : temps de mélange 1 à 2 heures avec une grande uniformité.
Milieu liquide : De l'eau désionisée ou de l'éthanol peuvent être ajoutés pour le mélange humide, et un équipement de séchage par pulvérisation est nécessaire.

Disperseur à ultrasons : utilisé pour le dopage humide, dispersion de poudre de tungstène et de zircone dans un milieu liquide par vibration ultrasonore (fréquence 20-40 kHz). Les caractéristiques de l'équipement comprennent :
Haute uniformité : convient au mélange de zircone à l'échelle nanométrique.
Production en petits lots: Généralement < débit de 10 kg, adapté à la production d'électrodes haut de gamme.

L'équipement de mélange doit être équipé d'un système de pesage précis (par exemple, une balance électronique d'une précision ± 0,001 g) pour s'assurer que le rapport de zircone atteint la qualité cible. Les équipements de mixage modernes intègrent souvent des systèmes PLC (Programmable Logic Controller) pour surveiller les paramètres de mixage en temps réel.

8.1.2 Équipement de criblage et de classement

Les équipements de criblage et de calibrage sont utilisés pour contrôler la distribution granulométrique des poudres, éliminer les particules surdimensionnées ou petites et s'assurer que les matières premières répondent aux exigences de production. Les équipements couramment utilisés comprennent :

Tamis vibrant : La poudre est classée par granulométrie par vibration à haute fréquence (1000 à 3000 fois/min). Les caractéristiques de l'équipement comprennent :

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Taille du tamis : 10 à 50 μm, adapté au calibrage de la poudre de tungstène (3 à 5 μm) et de la zircone (0,1 à 1 μm).
Débit : 0,5 à 5 kg/min, adapté à la production de gros volumes.
Conception anti-blocage : Équipé d'un dispositif de nettoyage de filet à ultrasons pour empêcher le trou de l'écran de se boucher.

Classificateur de flux d'air : utilise le flux d'air pour séparer les poudres par taille de particule, adapté à la classification des poudres ultrafines telles que la zircone à l'échelle nanométrique. Les caractéristiques de l'équipement comprennent :
Précision de gradation : les particules de 0,1 à 10 μm peuvent être séparées avec une précision ± 0,1 μm.
Pas de pollution : utilisez un gaz inerte (comme l'azote) comme milieu de classement pour éviter l'oxydation.
Automatisation : Équipé d'un système de collecte automatique pour améliorer l'efficacité de la production.

Classificateur centrifuge : Le classement de la poudre est réalisé par la force centrifuge, adapté à la production de petits lots de haute précision. Les caractéristiques de l'équipement comprennent une grande précision de calibrage mais un faible débit (<1 kg/min).

Les équipements de criblage et de calibrage doivent être étalonnés régulièrement pour s'assurer que la distribution granulométrique est conforme à la norme (par exemple, 3 à 5 μm pour la poudre de tungstène D50 et 0,1 à 0,5 μm pour la zircone D50). Les équipements modernes intègrent souvent des analyseurs de taille de particules laser pour surveiller l'effet de classement en temps réel.
8.2 Équipement de pressage et de formage des électrodes de zirconium et de tungstène
Les équipements de pressage et de formage sont utilisés pour presser les poudres mélangées en flans, fournissant la base du frittage et du traitement ultérieurs. Les performances de l'équipement affectent directement la densité, la résistance et la consistance des billettes.

8.2.1 Presse hydraulique et presse isostatique
Fluide hydraulique
La presse presse la poudre en billettes cylindriques à l'aide de matrices rigides, adaptées à la production de petits volumes ou de billettes de grand diamètre. Les caractéristiques de l'équipement comprennent :

Plage de pression : 50-100 MPa, réglable pour contrôler la densité des billettes (50 à 60 % de densité théorique).
Matériau du moule : carbure ou acier à haute résistance, haute résistance à l'usure.
Productivité : 10 à 30 secondes pour un seul temps de pressage, adapté aux billettes d'un diamètre de 10 à 20 mm.
Système de contrôle : Équipé d'un système PLC pour contrôler avec précision la pression et le temps de maintien.
Applications : Convient pour la production d'électrodes de taille non standard ou d'ébauches

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

expérimentales.

La limitation des presses hydrauliques est que la répartition de la densité des billettes peut être inégale, ce qui les rend adaptées au pressage de formes simples.

La presse isostatique à froid est appliquée uniformément à travers un milieu liquide, tel que l'eau ou l'huile, pour former une billette uniforme à haute densité qui est largement utilisée dans la production d'électrodes de zirconium et de tungstène. Les caractéristiques de l'équipement comprennent :

Plage de pression : 100-200 MPa, densité des billettes jusqu'à 60 %-70 % de densité théorique.
Conception du moule : Moules flexibles (tels que le caoutchouc ou le polyuréthane) pour assurer une répartition uniforme de la pression.
Débit : plusieurs billettes (diamètre 10-20 mm, longueur 100-300 mm) peuvent être pressées en un seul passage.
Automatisation : Équipé de systèmes de chargement et de déchargement automatiques pour améliorer l'efficacité de la production.
Application : Convient à la production de masse d'ébauches d'électrodes en zirconium et tungstène de haute précision.

L'avantage des presses isostatiques à froid réside dans la densité uniforme des billettes, réduisant la porosité et les fissures pendant le processus de frittage. Les presses isostatiques modernes intègrent souvent des capteurs de pression et des systèmes d'acquisition de données pour surveiller l'effet de pressage en temps réel.

8.2.2 Conception et fabrication du moule

Les moules sont les composants de base des équipements de pressage et de formage, et leur conception et leur fabrication affectent directement la qualité des billettes. Les facteurs suivants doivent être pris en compte dans la conception du moule :

Sélection des matériaux : Le moule est généralement en carbure (tel que WC-Co) ou en acier à haute résistance, avec une dureté de > 60 HRC et une forte résistance à l'usure et à la corrosion.
Précision dimensionnelle : La tolérance du diamètre intérieur du moule ± de 0,01 mm, ce qui garantit un diamètre de billette constant (10 à 20 mm).
Finition de surface : La rugosité de la surface intérieure du moule est de Ra<0,2 μm, réduisant les défauts de surface de la billette.
Conception structurelle : Le moule doit avoir des fonctions de démontage et de nettoyage pour faciliter l'entretien. Les moules isostatiques à froid utilisent des matériaux flexibles tels que le caoutchouc pour assurer un transfert de pression uniforme.

La fabrication de moules utilise l'usinage CNC (par exemple, les machines CNC 5 axes) et l'usinage par électroérosion (EDM) pour assurer une haute précision et la réalisation de formes complexes. La conception moderne des moules introduit également l'analyse par éléments finis (FEA) pour simuler la distribution des contraintes pendant le pressage et optimiser la structure du moule.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO2 Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

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
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

8.3 Equipement de frittage et de traitement thermique pour électrodes de zirconium-tungstène

Les équipements de frittage et de traitement thermique sont utilisés pour convertir les ébauches pressées en ébauches d'électrodes denses et éliminer les contraintes internes et optimiser la microstructure. Les performances de l'appareil affectent directement la densité, la taille des grains et la stabilité des performances de l'électrode.

8.3.1 Four de frittage à haute température

Le four de frittage à haute température est l'équipement de base pour la production d'électrodes de zirconium et de tungstène, qui est utilisé pour fritter des billettes à 1800-2200°C, afin que les particules de tungstène puissent se lier et former une phase de dispersion stable de la zircone. Les fours de frittage couramment utilisés comprennent :

Four de frittage sous vide

Caractéristiques : Degré de vide < 10^{-3} Pa pour éviter l'oxydation du tungstène ; Plage de température 1800–2200°C avec précision ± 5°C.

Élément chauffant : corps chauffant en molybdène ou graphite, excellente résistance aux hautes températures.

Capacité de frittage : 10 à 100 kg dans un seul four, adapté à la production à moyenne et grande échelle.

Système de contrôle : Équipé d'un PLC et d'un thermomètre infrarouge pour surveiller la température et le vide en temps réel.

Application : Convient pour la production d'électrodes de tungstène en zirconium de haute pureté (par exemple WZ8) pour garantir une faible teneur en oxygène (<0,005 %).

Four de frittage d'hydrogène

Caractéristiques : Utiliser de l'hydrogène de haute pureté (>99,999 %) comme atmosphère protectrice, débit de 10 à 50 L/min ; Plage de température 1800–2100°C.

Propriétés réductrices : L'hydrogène élimine efficacement l'oxygène et les impuretés volatiles de la billette.

Conception de sécurité : Équipé d'une détection de fuite d'hydrogène et d'un système d'échappement automatique pour assurer un fonctionnement en toute sécurité.

Application : Adapté à la production de masse, le coût est inférieur à celui du frittage sous vide.

Four de frittage de micro-ondes

Caractéristiques : Frittage rapide et uniforme par chauffage par micro-ondes (fréquence 2,45 GHz) avec un temps de frittage de 2 à 4 heures et une économie d'énergie de 30 à 40 %.

Avantages : croissance réduite des grains, microstructure optimisée (taille des grains 10-20 μm).

Limites : Coût d'équipement élevé, adapté à la production d'électrodes haut de gamme.

Le four de frittage doit être équipé d'un système de contrôle précis de la température (erreur <± 10°C) et d'un système de contrôle de l'atmosphère pour garantir que la densité de frittage atteint 95 % à 98 % de densité théorique et que la porosité < 0,5 %.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

8.3.2 Four de traitement thermique sous vide

Les fours de traitement thermique sous vide sont utilisés pour éliminer les contraintes internes lors du pressage et du frittage, optimisant ainsi la structure cristalline et les propriétés mécaniques des électrodes.

Les caractéristiques de l'équipement comprennent :
Plage de température : 1200–1600°C, précision ±5°C.
Niveau de vide : $<10^{-2}$ Pa pour éviter l'oxydation des électrodes.
Élément chauffant : fil de molybdène ou de tungstène, excellente résistance aux hautes températures.
Système de refroidissement : Équipé d'un système de refroidissement par eau ou par air pour contrôler la vitesse de refroidissement (20-50 °C/h) afin d'éviter la concentration des contraintes.
Application : Utilisé pour le recuit des billettes frittées afin d'améliorer la ductilité et la résistance à la rupture.

Les fours de traitement thermique modernes intègrent souvent des programmes de contrôle de la température en plusieurs étapes pour obtenir des profils précis de chauffage, de maintien et de refroidissement grâce à un contrôle par ordinateur. Certains équipements haut de gamme sont également équipés d'un système de surveillance en ligne permettant de détecter les contraintes et les changements de microstructure de la billette en temps réel.

8.4 Équipement de traitement de précision pour électrodes de zirconium et de tungstène

L'équipement d'usinage de précision est utilisé pour transformer les ébauches frittées en tiges d'électrode qui répondent aux spécifications, y compris l'emboutissage, la découpe et le polissage de surface. La précision et la stabilité de l'équipement affectent directement la tolérance dimensionnelle et la qualité de surface de l'électrode.

8.4.1 Machine à dessiner et machine à découper

Machine à tirer
La machine d'étirage étire la billette frittée en tiges d'électrode allongées (diamètre 1,0 à 6,4 mm) à travers une série de matrices. Les caractéristiques de l'équipement comprennent :

Vitesse de traction : 0,1–1 m/min, commande du servomoteur, précision ± 0,01 m/min.
Matériau du moule : carbure ou diamant, dureté > 60 HRC, forte résistance à l'usure.
Conception des passes : 10 à 20 passes, réduisant le diamètre de 5 à 10 % à chaque fois.
Système de lubrification : Équipé d'un dispositif de pulvérisation de lubrifiant au disulfure de graphite ou de molybdène pour réduire les rayures de surface.
Application : Réduire le diamètre des billettes de 10–20 mm à 1,0–6,4 mm avec une tolérance ± 0,05 mm.

Les machines à dessiner modernes utilisent des systèmes CNC pour ajuster automatiquement la vitesse de traction et la tension, réduisant ainsi les micro-fissures et les défauts de surface.

Coupeurs

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

La machine de découpe est utilisée pour couper les tiges d'électrode étirées en longueurs standard (par exemple 150 mm, 175 mm). Les équipements couramment utilisés comprennent :

Électroérosion à fil : Découpe par électroérosion avec une précision ± 0,1 mm, adaptée aux exigences de haute précision.
Découpeuse laser : Utilise un laser haute puissance (puissance 1 à 5 kW) pour une vitesse élevée (0,5 à 2 m/min) et un état de surface élevé (Ra<0,8 μm).
Système de refroidissement : Équipé d'un refroidissement par eau ou par huile pour éviter la surchauffe de l'électrode.
Applications : Découpe de tiges d'électrode à des longueurs standard pour les besoins de soudage TIG et de découpe plasma.

8.4.2 Équipement de polissage de surface

L'équipement de polissage de surface est utilisé pour améliorer la finition de la surface de l'électrode (Ra<0,4 μm) et réduire l'attachement des contaminants et la dérive de l'arc. Les équipements couramment utilisés comprennent :

Machine de polissage rotative : Le polissage de surface est réalisé en faisant tourner la roue de polissage (1000-3000 tr/min) et les supports de polissage (tels que la suspension d'alumine ou de diamant). Les caractéristiques de l'équipement comprennent :
Précision de polissage : rugosité de surface Ra<0,4 μm.
Automatisation : Équipé d'un système d'alimentation automatique avec un débit de 100 à 500 fils/heure.
Application : Convient pour le polissage d'électrodes à grand volume.

Machine de polissage électrochimique : Élimine les minuscules défauts à la surface de l'électrode grâce à des réactions électrochimiques, adaptées aux électrodes de haute précision. Les caractéristiques de l'équipement comprennent :
Fluide de polissage : électrolyte à base d'acide phosphorique ou de sulfate, formulation respectueuse de l'environnement pour réduire la pollution.
Temps de polissage : 10 à 30 secondes/pièce, haute efficacité.
Qualité de surface : Ra<0,2 μm, proche de l'effet spéculaire.

Machine de polissage laser : utilise un faisceau laser (puissance 500-2000 W) pour niveler la surface de l'électrode, adaptée à la production d'électrodes haut de gamme. Les caractéristiques de l'équipement comprennent une haute précision (Ra<0,1 μm) et un traitement sans contact.

L'équipement de polissage doit être équipé d'un système de dépoussiérage pour éviter que la poudre de tungstène et la poussière de zircone ne polluent l'environnement pendant le processus de polissage.

8.5 Équipement d'inspection de la qualité des électrodes de zirconium et de tungstène

L'équipement d'inspection de la qualité est utilisé pour s'assurer que la composition chimique, la

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

microstructure, la précision dimensionnelle et la qualité de surface des électrodes en zirconium et de tungstène sont conformes aux normes internationales (par exemple, ISO 6848, AWS A5.12, GB/T 4187). Les équipements couramment utilisés comprennent :

Équipement d'analyse de la composition chimique
Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) : détection d'impuretés (par exemple, Fe, Si, C<0,005 %) dans la poudre de tungstène et la zircone avec une précision ± 0,001 %.
Spectroscopie de fluorescence X (XRF) : Analyse rapide de la teneur en zircone (par exemple, 0,3 % pour WZ3 et 0,8 % pour WZ8), adaptée à la détection en ligne.

Équipement d'analyse de la microstructure
Microscopie électronique à balayage (MEB) : analysez la taille des grains (10 à 20 μm) et l'uniformité de la distribution de la zircone des électrodes.
Diffractomètre à rayons X (XRD) : détecte la structure cristalline et la composition des phases pour garantir l'absence de phases parasites.

Équipement d'inspection dimensionnelle
Télémètre laser : mesure le diamètre de l'électrode (tolérance ±0,05 mm) et la longueur (tolérance ± 1 mm).
Rugomètre de surface : détecte la rugosité de surface de l'électrode (Ra<0,4 μm).

Équipement de détection de défauts
Détecteur à ultrasons : détecte les fissures et les pores internes dans les billettes et les électrodes finies avec une précision ± 0,1 mm.
Instrument d'inspection par rayons X : Détection non destructive des défauts internes, adapté à la production en grand volume.

Les équipements de test modernes intègrent souvent des systèmes d'acquisition de données pour analyser les résultats de détection grâce à des algorithmes d'intelligence artificielle afin d'améliorer l'efficacité et la précision de la détection.

8.6 Maintenance de l'équipement et optimisation des électrodes de zirconium et de tungstène
La maintenance et l'optimisation des équipements sont essentielles pour assurer la continuité de la production et la qualité des électrodes, ce qui implique une maintenance régulière, un diagnostic des pannes et une optimisation des performances.

Entretien de l'équipement
Inspections régulières : Vérifiez chaque mois l'état de fonctionnement des équipements de broyage, de mélange, de frittage et de traitement, étalonnez les capteurs et les systèmes de contrôle.
Lubrification et nettoyage : Nettoyez régulièrement le moule et la machine à étirer, en ajoutant des lubrifiants tels que du graphite pour réduire l'usure.
Remplacement des composants : Remplacez régulièrement les pièces usées (telles que les éléments chauffants dans les fours de frittage, les moules dans les machines à étirer) pour assurer les

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

performances de l'équipement.
Gestion de la sécurité : Les fours de frittage d'hydrogène doivent être équipés de systèmes de détection des fuites et d'échappement automatique pour prévenir les accidents de sécurité.

Optimisation des équipements
Mise à niveau de l'automatisation : Introduisez des systèmes IIoT (Industrial Internet of Things) et SCADA pour surveiller l'état des équipements et les données de production en temps réel, améliorant ainsi l'efficacité de la production de 10 à 20 %.
Transformation intelligente : Les algorithmes d'apprentissage automatique sont utilisés pour optimiser les paramètres de l'équipement (par exemple, la température de frittage, la vitesse d'extraction) et réduire les taux de rebut (<1 %).
Rénovation écologique : Installer des systèmes de récupération de la chaleur résiduelle et des équipements de dépoussiérage à haut rendement pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de poussière (< 10 mg/m³).
Conception modulaire : une structure d'équipement modulaire est adoptée, qui est facile à entretenir et à mettre à niveau, réduisant ainsi les temps d'arrêt.

La combinaison de la maintenance et de l'optimisation de l'équipement garantit le fonctionnement stable et le rendement élevé de la ligne de production d'électrodes de zirconium et de tungstène, répondant ainsi aux besoins des applications industrielles de haute précision.

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 9 Normes nationales et étrangères pour les électrodes de zirconium et de tungstène

En tant que matériau clé dans la protection contre les gaz inertes au tungstène (soudage TIG) et la découpe plasma, les électrodes en zirconium et en tungstène doivent répondre à des normes nationales et internationales strictes pour leurs performances et leur qualité. La normalisation garantit la composition chimique, les propriétés physiques, la précision dimensionnelle et la cohérence d'application des électrodes en zirconium-tungstène, répondant ainsi aux besoins de domaines de haute précision tels que l'aérospatiale, la construction automobile et l'industrie nucléaire. Ce chapitre aborde en détail les normes internationales (telles que ISO 6848, AWS A5.12) et les normes nationales (telles que GB/T 4187) pour les électrodes de zirconium et de tungstène, analyse leur contenu et leurs exigences spécifiques, compare les similitudes et les différences entre les normes nationales et étrangères, et se réjouit de la tendance à la mise à jour et au développement des normes.

9.1 Normes internationales pour les électrodes de zirconium et de tungstène

Les normes internationales fournissent des spécifications uniformes pour la production, les essais et l'application des électrodes de zirconium et de tungstène, qui sont largement utilisées dans le commerce mondial et la production industrielle. Les principales normes internationales comprennent la norme ISO 6848 de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) et la norme AWS A5.12 de l'American Welding Society (AWS).

9.1.1 Normes ISO (e.g. ISO 6848)

L'ISO 6848 (la dernière version est l'ISO 6848:2015, Soudage à l'arc et coupage — Électrodes de tungstène non consommables — Classification) est une norme internationale pour les électrodes en tungstène de zirconium qui spécifie la classification, la composition chimique, les exigences de performance et les méthodes d'essai des électrodes de tungstène non consommables. Cette norme s'applique aux électrodes en tungstène en soudage TIG et en découpe plasma, y compris les électrodes en zirconium et tungstène (série WZ).

Contenu standard :

Classification : Les électrodes en zirconium et tungstène sont classées en fonction de leur teneur en zircone (ZrO_2), y compris principalement le WZ3 (0,15 % à 0,4 % de ZrO_2) et le WZ8 (0,7 % à 0,9 % de ZrO_2). La norme définit également d'autres types d'électrodes en tungstène, telles que le tungstène pur (WP), le tungstène thorium (WT) et le tungstène cérium (WC).

Composition chimique : La plage de tolérance de la pureté de la matrice de tungstène (>99,5 %) et de la teneur en zircone est spécifiée, et la teneur en impuretés (telles que Fe, Si, C) doit être contrôlée en dessous de 0,005 %.

Exigences de performance : y compris la stabilité de l'arc, les performances d'allumage et la résistance à l'épuisement. Les électrodes en zirconium et tungstène doivent présenter d'excellentes concentrations d'arc et des capacités anti-contamination dans le soudage à courant alternatif (CA).

Méthodes d'essai : y compris l'analyse de la composition chimique (à l'aide de l'ICP-MS ou de l'XRF), l'essai de performance de l'arc (mesure de la tension d'allumage et de la stabilité de l'arc dans des conditions de soudage standard) et le contrôle de la qualité de surface (rugosité de surface

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Ra<0,8 μm).
Marquage et emballage : La surface de l'électrode doit être marquée de la nuance (par exemple WZ8), du diamètre et de la longueur, et l'emballage doit être étanche à l'humidité et à la poussière, et accompagné d'un certificat de conformité.

Applications : La norme ISO 6848 convient au soudage TIG et au découpe plasma dans le monde entier, en particulier dans les scénarios à forte demande tels que l'aérospatiale, la construction navale et la construction automobile. Par exemple, Boeing et Airbus ont soudé des composants en alliage d'aluminium avec des électrodes en zirconium et tungstène conformément à la norme ISO 6848.

Caractéristiques et avantages :
Applicabilité mondiale : ISO 6848 est reconnue par la plupart des pays et régions du monde, facilitant le commerce international et la production transfrontalière.
Contrôle de qualité strict : La norme exige une composition chimique et des performances détaillées, garantissant la cohérence et la fiabilité des électrodes.
Orientation environnementale : Encourager l'utilisation d'électrodes de tungstène de zirconium non radioactives et remplacer progressivement les électrodes de tungstène de thorium (WT20).

9.1.2 Normes AWS (telles qu'AWS A5.12)

AWS A5.12/A5.12M :2009 (Spécification pour les électrodes de tungstène dispersées de tungstène et d'oxyde pour le soudage et le coupage à l'arc) est une norme d'électrode de tungstène développée par l'American Welding Society, largement utilisée sur le marché nord-américain, couvrant la classification, les performances et les exigences de test des électrodes de tungstène de zirconium.

Contenu standard :
Classification : Les électrodes en zinc-tungstène sont divisées en EWZr-1 (WZ8, contenant 0,7 % à 0,9 % de ZrO_2) et EWZr-3 (WZ3, contenant 0,15 % à 0,4 % de ZrO_2). La norme comprend également d'autres types d'électrodes tels que le tungstène pur (EWP), le tungstène thorium (EWTh-2) et le tungstène cérium (EWC-2).
Composition chimique : La pureté de la matrice de tungstène doit > 99,5 %, la tolérance de la teneur en zircone est de ±0,05 % et la teneur en impuretés (telles que Fe et Si) est de <0,005 %.
Exigences de performance : Mettez l'accent sur la stabilité de l'arc, la résistance à l'épuisement et la capacité anti-pollution des électrodes de zirconium et de tungstène dans le soudage AC, particulièrement adaptées au soudage d'alliages d'aluminium et de magnésium.
Méthodes d'essai : y compris l'analyse de la composition chimique (par spectroscopie), l'essai des performances de l'arc (mesure de la tension d'allumage <50 V et du taux de dérive de l'arc <5 %) et l'inspection de la qualité de surface (Ra<0,8 μm).
Dimensions et marquages : spécifiez le diamètre de l'électrode (1,0 à 6,4 mm) et la longueur (75 à 300 mm), et exigez des codes de classification AWS (par exemple, EWZr-1) sur la surface.

Applications : AWS A5.12 a une grande influence sur le marché nord-américain, en particulier dans les secteurs de la construction automobile, de l'aérospatiale et de l'énergie. Par exemple, la soudure de la carrosserie en aluminium de Tesla et la pulvérisation des composants de la turbine à gaz de

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

General Electric doivent toutes deux être conformes aux normes AWS A5.12.

Caractéristiques et avantages :
Tests de performance détaillés : Les méthodes d'essai standard pour les performances de l'arc et la résistance à l'épuisement sont plus spécifiques, ce qui les rend adaptées aux applications de haute précision.
Autorité régionale : Les normes AWS sont très reconnues sur le marché nord-américain, ce qui facilite la production et la certification locales.
Forte compatibilité : Il présente un haut degré de cohérence avec la norme ISO 6848 en matière de classification et d'exigences, ce qui est pratique pour la coordination des normes internationales.

9.2 Normes nationales pour les électrodes de zirconium et de tungstène
En tant que plus grand pays ressource en tungstène au monde et producteur d'électrodes de zirconium et de tungstène, la Chine a élaboré une série de normes nationales couvrant la production, les essais et l'application d'électrodes de zirconium et de tungstène. Les principales normes comprennent des normes nationales (normes GB/T) et des normes industrielles, ainsi que des normes internes.
Norme 9.2.1 GB/T
GB/T 4187-2017 (électrodes de tungstène) est une norme nationale chinoise qui spécifie la classification, la composition chimique, les exigences de performance et les méthodes d'essai des électrodes de tungstène, et convient au soudage TIG et à la découpe plasma.

Contenu standard :
Classification : Les électrodes en tungstène zirconium sont divisées en WZ3 (0,15 % à 0,4 % de ZrO_2) et WZ8 (0,7 % à 0,9 % de ZrO_2), ainsi qu'en autres types d'électrodes en tungstène (par exemple, WT20, WC20).
Composition chimique : pureté de la matrice de tungstène >99,5 %, tolérance de teneur en zircone ±0,05 %, teneur en impuretés (telles que Fe, Si, C) <0,005 %.
Exigences de performance : Les électrodes en zinc-tungstène doivent avoir une excellente stabilité de l'arc (taux de dérive de l'arc <5 %), des performances d'allumage (tension d'allumage <50 V) et une résistance à l'épuisement (durée de vie 2 à 3 fois plus longue que celle des électrodes en tungstène pur) dans le soudage AC.
Méthodes d'essai : y compris l'analyse de la composition chimique (ICP-MS ou XRF), les essais de performance à l'arc (effectués sur des équipements de soudage AC standard) et l'inspection de la qualité de surface (Ra<0,8 μm).
Dimensions et emballage : Diamètre de l'électrode (1,0 à 6,4 mm) et longueur (75 à 300 mm), emballage étanche à l'humidité et à la poussière requis, accompagné d'un certificat de conformité.

Applications : GB / T 4187 est largement utilisé dans l'aérospatiale, la fabrication automobile, l'industrie de la construction navale et l'industrie nucléaire en Chine. Par exemple, le soudage des composants d'aéronefs d'AVIC et le soudage de la coque du CSIC doivent répondre à cette norme.

Caractéristiques et avantages :

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Adaptation au marché chinois : La norme combine les avantages des ressources chinoises en tungstène pour optimiser les exigences de production et d'essai, adaptée à la production à grande échelle.
Contrôle strict des impuretés : Les exigences relatives à la teneur en impuretés s'alignent sur les normes internationales, garantissant la qualité des électrodes.
Orientation environnementale : Encourager l'utilisation d'électrodes de zirconium et de tungstène au lieu d'électrodes de tungstène au thorium, conformément aux réglementations environnementales.

9.2.2 Normes de l'industrie et normes d'entreprise

En plus des normes nationales, la Chine a élaboré un certain nombre de normes industrielles et de normes d'entreprise pour répondre aux besoins d'industries ou d'entreprises spécifiques.

Normes de l'industrie :

YS/T 231-2016 (norme industrielle pour les électrodes en tungstène) : formulée par l'Institute of Nonferrous Metals Technology and Economics, qui affine le processus de production et les exigences de contrôle de la qualité des électrodes en zirconium et tungstène, et convient au domaine du soudage des métaux non ferreux.
JB/T 4744-2007 (Électrode de tungstène pour le soudage) : Formulée par la Fédération des industries de machines, elle se concentre sur la réglementation de l'application de l'électrode de tungstène de zirconium dans la fabrication de machines, en mettant l'accent sur les performances de l'arc et la capacité anti-pollution.
Les normes industrielles sont souvent complétées par GB/T 4187 et fournissent des exigences plus spécifiques pour des industries spécifiques (par exemple, l'aviation, les navires).

Normes d'entreprise :

Les principaux fabricants nationaux d'électrodes en tungstène ont formulé des normes d'entreprise internes (codes Q/entreprise), qui sont encore affinées sur la base de GB/T 4187. Par exemple:
Composition chimique : La tolérance de la teneur en zircone doit être de ±0,03 % et la teneur en impuretés est de < 0,003 %.
Qualité de surface : Nécessite une rugosité de surface de Ra<0,4 μm pour répondre aux besoins de soudage haut de gamme.
Tests de performance : Ajout de tests anti-contamination (par exemple, test de stabilité de l'arc dans un environnement contenant de l'oxyde).

Les normes d'entreprise sont généralement plus strictes que les normes nationales pour répondre aux besoins des marchés haut de gamme (tels que l'aérospatiale, l'industrie nucléaire).

Caractéristiques et avantages :
Flexibilité : les normes de l'industrie et de l'entreprise peuvent répondre rapidement à la demande du marché et compléter les lacunes des normes nationales.
Personnalisation : les normes d'entreprise optimisent les exigences pour des clients ou des scénarios d'application spécifiques, tels que le soudage AC à courant élevé.
Compétitivité du marché : Améliorer la qualité des produits grâce à des normes plus strictes et

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

renforcer la compétitivité sur le marché international.

9.3 Contenu et exigences des normes d'électrode de zirconium et de tungstène

Les normes nationales et internationales pour les électrodes en zirconium et tungstène mettent en avant des exigences détaillées en matière de composition chimique, de propriétés physiques et de tolérances dimensionnelles afin d'assurer leur performance et leur cohérence dans le soudage TIG et la découpe plasma. Ce qui suit est analysé sous trois aspects : la composition chimique, les propriétés physiques et les tolérances dimensionnelles.

9.3.1 Exigences relatives à la composition chimique

La composition chimique est au cœur de la qualité des électrodes en zirconium et tungstène, ce qui a un impact direct sur la stabilité de leur arc, leurs performances d'allumage et leur résistance à l'épuisement. Les exigences relatives à la composition chimique sont très uniformes dans les normes nationales et étrangères, notamment :

Matrice de tungstène :

Pureté : >99,5 % (ISO 6848, AWS A5.12, GB/T 4187), assurant le point de fusion élevé (environ 3422°C) et la stabilité chimique de l'électrode.

Teneur en impuretés : La teneur totale en fer (Fe), silicium (Si), carbone (C) et autres impuretés <0,005 %, et l'impureté individuelle < 0,002 %. Des impuretés excessives peuvent provoquer une instabilité de l'arc ou la brûlure de l'électrode.

Méthode d'essai : La détection ICP-MS (spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif) ou XRF (spectroscopie de fluorescence X) est utilisée pour garantir une précision de ± 0,001 %.

Zircone (ZrO_2) :

WZ3 : 0,15 % à 0,4 % (tolérance ±0,05 %) pour le soudage AC à courant faible à moyen (50 à 150 A).

WZ8 : 0,7 % à 0,9 % (tolérance ±0,05 %) pour le soudage AC à courant élevé (150 à 400 A).

Exigences de forme cristalline : La zircone est principalement du ZrO_2 monoclinique pour assurer une stabilité à haute température.

Méthode d'essai : Vérifier la teneur en zircone par titrage XRF ou chimique avec une précision de ±0,01 %.

Autres exigences :

L'utilisation de matières radioactives (telles que l'oxyde de thorium) est interdite afin d'assurer la protection de l'environnement des électrodes.

La teneur en oxygène < de 0,005 % pour éviter l'oxydation des électrodes et la dégradation des performances.

Le contrôle strict des exigences de composition chimique garantit la fiabilité et la cohérence des électrodes de zirconium et de tungstène dans le soudage de haute précision.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO2 Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

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
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

9.3.2 Exigences de performance physique

Les exigences en matière de propriétés physiques couvrent la stabilité de l'arc, les performances d'allumage, la résistance à l'épuisement et la résistance à la pollution, ce qui affecte directement l'effet d'application des électrodes en zirconium et tungstène. Les méthodes d'essai standard et les indicateurs de propriétés physiques comprennent :

Stabilité de l'arc :

Exigences : Taux de dérive de l'arc < 5 % (courant 150-400 A dans des conditions de soudage AC standard).

Méthode d'essai : À l'aide d'un équipement de soudage TIG AC à haute fréquence, la forme de l'arc et la distance de dérive sont mesurées (par photographie à grande vitesse ou analyseur d'arc).

Caractéristiques de l'électrode de tungstène de zirconium : le WZ8 a une meilleure concentration d'arc que le WZ3 dans le soudage AC à courant élevé et convient au soudage d'alliages d'aluminium à plaques épaisses ; WZ3 convient au soudage de plaques minces, et la stabilité de l'arc est toujours meilleure que celle des électrodes en tungstène pur.

Performance d'allumage :

Exigences : Tension d'allumage < 50 V, taux de réussite de l'allumage > 99 % (dans des conditions de courant alternatif à haute fréquence).

Méthode d'essai : Plusieurs tests d'allumage sont effectués sur des équipements de soudage standard, enregistrant la tension d'allumage et le taux de réussite.

Caractéristiques de l'électrode de zirconium et de tungstène : Le faible travail d'échappement d'électrons (2,7 à 3,0 eV) permet à l'électrode de zirconium et de tungstène de s'enflammer rapidement lors du soudage AC à haute fréquence, ce qui est meilleur que l'électrode de tungstène pure (4,5 eV).

Résistance aux brûlures :

Exigences : Taux de brûlure de la pointe de l'électrode <0,1 mm/h pour le soudage AC à courant élevé (200-400 A).

Méthode d'essai : Fonctionnement continu dans des conditions de soudage standard pendant plusieurs heures, mesure des changements de taille de pointe (au microscope ou au télémètre laser).

Caractéristiques de l'électrode de tungstène de zirconium : La protection en phase dispersée de la zircone rend la durée de vie de l'électrode WZ8 2 à 3 fois plus longue que celle de l'électrode de tungstène pure, et la durée de vie de l'électrode WZ3 est également considérablement prolongée sous un courant modéré.

Capacité anti-pollution :

Exigences : Dans l'environnement de soudage contenant des oxydes (tels que Al_2O_3, MgO), il n'y a pas de pollution évidente sur la surface de l'électrode et la stabilité de l'arc est maintenue à >95 %.

Méthode d'essai : Effectuez des essais de soudage dans un environnement de pollution simulée pour observer le degré de pollution de la surface de l'électrode et les performances de l'arc.

Caractéristiques de l'électrode de tungstène zirconium : La stabilité chimique et la finition de surface élevée (Ra<0,4 μm) la rendent meilleure que les électrodes thorium-tungstène et cérium-tungstène

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

dans le soudage en alliage d'aluminium et de magnésium.

9.3.3 Dimensions et tolérances

Les exigences dimensionnelles et de tolérance garantissent la cohérence géométrique des électrodes en zirconium-tungstène, répondant ainsi aux besoins des équipements et des processus de soudage. Les exigences standard en matière de dimensions et de tolérances comprennent :

Diamètre:

Portée : 1,0 à 6,4 mm (les spécifications courantes sont 1,6 mm, 2,4 mm, 3,2 mm, 4,0 mm).
Tolérances : ±0,05 mm (ISO 6848, AWS A5.12, GB/T 4187) pour assurer la compatibilité avec les mandrins de pistolet de soudage.
Méthode de test : Mesurée à l'aide d'un télémètre laser ou d'un pied à coulisse de haute précision.

Longueur:

Portée : 75 à 300 mm (les spécifications courantes sont 150 mm, 175 mm).
Tolérance : ±1 mm, répondant aux besoins de différents équipements de soudage.
Méthode d'essai : Vérifiez avec un équipement de mesure CNC ou une règle.

Surface:

Exigences : Rugosité de surface Ra<0,8 μm (Ra<0,4 μm après polissage) sans fissures, rayures ou oxydes.
Méthode d'essai : Examen à l'aide d'un rugomètre de surface et d'un microscope.
Caractéristiques de l'électrode en zirconium et tungstène : La finition de surface élevée réduit l'adhérence des contaminants et améliore la stabilité de l'arc.

Géométrie de l'embout :

Exigences : angle de pointe 30°–60° (déviation de soudage AC angle obtus 45°–60°, déviation de soudage DC angle aigu 30°–45°), tolérance ±2°).
Méthode d'essai : Vérification à l'aide d'un instrument de mesure d'angle ou d'un microscope.

Le contrôle strict des dimensions et des tolérances garantit la compatibilité et la stabilité des performances des électrodes de tungstène en zirconium dans les équipements de soudage automatisés.

9.4 Comparaison et coordination des normes nationales et étrangères pour les électrodes de zirconium et de tungstène

Les normes nationales et étrangères présentent de grandes similitudes dans la classification, la composition chimique, les exigences de performance et les méthodes d'essai des électrodes de zirconium et de tungstène, mais il existe également certaines différences. Voici une comparaison de plusieurs dimensions et la possibilité de coordination :

Classification et dénomination :

ISO 6848 : Les électrodes en zinc-tungstène sont divisées en WZ3 et WZ8, en fonction de leur

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

teneur en zircone.
AWS A5.12 : divisé en EWZr-1 (WZ8) et EWZr-3 (WZ3), avec des noms différents, mais essentiellement identiques.
GB/T 4187 : Les classifications WZ3 et WZ8 sont utilisées dans l'ISO, et les noms sont exactement les mêmes.
Comparaison : Les normes de classification des trois sont les mêmes, et la dénomination d'AWS (EWZr-1) met l'accent sur le type d'électrode (E pour électrode, W pour tungstène, Zr pour zirconium).
Coordination : Les différences de nommage n'affectent pas les applications pratiques et peuvent être unifiées grâce à des tableaux de comparaison dans le commerce international.

Composition chimique:
ISO 6848 : Pureté du tungstène >99,5 %, tolérance à la zircone ±0,05 %), impuretés < 0,005 %.
AWS A5.12 : Exigences cohérentes et méthodes de test plus détaillées (par exemple, exigences explicites pour les tests ICP-MS).
GB/T 4187 : Les exigences sont conformes à celles de l'ISO, mais les impuretés telles que la teneur en oxygène <0,005 % sont mieux contrôlées.
Comparaison : Les exigences relatives à la composition chimique des trois sont très constantes, et la norme GB/T 4187 est légèrement plus stricte en termes de contrôle de la teneur en oxygène.
Harmonisation : Cohérence des exigences en matière d'ingrédients grâce à des méthodes d'essai unifiées telles que l'ICP-MS.

Propriétés physiques :
ISO 6848 : met l'accent sur la stabilité de l'arc et la résistance à la brûlure avec une méthodologie d'essai plus générale.
AWS A5.12 : Indicateurs de test spécifiques pour augmenter les performances d'allumage et la résistance à la contamination (par exemple, tension d'allumage <50 V).
GB/T 4187 : Similaire à l'ISO, mais avec des exigences plus détaillées pour la stabilité de l'arc pour le soudage AC.
Comparaison : les normes AWS sont plus spécifiques dans les tests de performance, tandis que les normes ISO et GB/T se concentrent davantage sur la généralité.
Harmonisation : les normes peuvent être harmonisées par des méthodes d'essai supplémentaires telles que les tests de performance à l'allumage AWS.

Dimensions et tolérances :
ISO 6848 : Tolérance de diamètre ±0,05 mm, tolérance de longueur ± 1 mm, rugosité de surface Ra<0,8 μm.
AWS A5.12 : Les exigences sont cohérentes, avec un accent supplémentaire sur la tolérance de l'angle de pointe (±2°).
GB/T 4187 : Les exigences sont conformes à celles de l'ISO, mais exigent une rugosité de surface de Ra<0,4 μm dans les applications haut de gamme.
Comparaison : Les exigences de taille des trois sont très constantes et la norme GB/T 4187 est plus stricte en termes de qualité de surface.

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Coordination : Assurer la coordination grâce à des normes de tolérance harmonisées et à des équipements d'essai tels que des télémètres laser.

Protection de l'environnement et sécurité :

ISO 6848 : Encourage l'utilisation d'électrodes non radioactives (par exemple, le tungstène de zirconium, le tungstène de cérium) et est conforme à la réglementation REACH.

AWS A5.12 : Exigence explicite de non-radioactivité, mettant l'accent sur la fourniture d'une fiche signalétique (FDS).

GB/T 4187 : Se conformer aux réglementations chinoises en matière de protection de l'environnement et interdire l'utilisation d'électrodes en tungstène au thorium.

Comparaison : tous les trois mettent l'accent sur la protection de l'environnement, et AWS a des exigences plus spécifiques pour les fiches signalétiques.

Harmonisation : Harmonisation grâce à des formats de fiches signalétiques harmonisés et à des certifications environnementales telles que ISO 14001.

Perspectives de coordination :

Coordination technique : les normes ISO, AWS et GB/T sont très cohérentes en ce qui concerne les exigences de base, et des normes unifiées peuvent être élaborées par des comités techniques (par exemple, ISO/TC 44) pour réduire les obstacles au commerce.

Différences régionales : le marché nord-américain préfère les normes AWS, l'Europe et l'Asie préfèrent les normes ISO, et la Chine domine les normes GB/T. La coordination tient compte des réglementations régionales et des habitudes du marché.

Promotion de l'industrie : Les principaux fabricants mondiaux d'électrodes de tungstène participent activement à la formulation des normes et promeuvent l'intégration des normes nationales et étrangères.

Grâce à l'harmonisation des normes, la production et l'application mondiales d'électrodes de zirconium et de tungstène seront plus normalisées, ce qui favorisera le commerce international et les échanges techniques.

9.5 Mises à jour et tendances de développement des étalons d'électrodes de zirconium et de tungstène

La tendance à la mise à jour et au développement des normes d'électrodes de zirconium et de tungstène est motivée par les progrès technologiques, les demandes du marché et les réglementations environnementales. Voici une analyse des principales tendances et orientations de développement :

Stimulé par le progrès technologique :

Nanotechnologie : L'application de la zircone à l'échelle nanométrique (<100 nm) a amélioré les performances des électrodes en zirconium-tungstène, et les normes futures pourraient accroître les exigences liées au nanodopage, telles que la distribution granulométrique plus stricte et la détection de l'uniformité.

Dopage des composites : De nouvelles électrodes composites (par exemple, La_2O_3+ZrO_2 dopées)

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

sont en cours de développement, et la norme doit être étendue pour couvrir de nouveaux matériaux. Par exemple, l'ISO 6848 peut ajouter une nouvelle catégorie d'électrodes composites.
Détection intelligente : L'application de l'intelligence artificielle et de la technologie du big data a amélioré l'efficacité des inspections, et les futures normes pourraient introduire des méthodes de test assistées par l'IA (telles que l'analyse d'images MEB).

Stimulé par la demande du marché :
Applications de haute précision : L'aérospatiale, l'industrie nucléaire et la fabrication de dispositifs médicaux exigent de plus en plus de performances d'électrodes, et les normes peuvent ajouter des tests plus stricts pour la stabilité de l'arc et la résistance à la contamination.
Soudage automatisé : La popularité des équipements de soudage TIG automatisés nécessite des tolérances de taille d'électrode plus petites (par exemple, ±0,02 mm), et les normes futures pourraient affiner les exigences de taille.
Industries émergentes : L'essor des nouvelles sources d'énergie (par exemple, les équipements éoliens et solaires) et de la technologie d'impression 3D pourrait entraîner l'expansion des normes pour couvrir de nouveaux scénarios d'application.

Réglementation environnementale :
Pas d'exigences en matière de radioactivité : Avec le renforcement des réglementations environnementales (telles que EU REACH, la loi chinoise sur la protection de l'environnement), les restrictions relatives aux électrodes en tungstène au thorium seront encore étendues et les avantages environnementaux des électrodes en tungstène de zirconium favoriseront les mises à jour des normes.
Fabrication écologique : Les normes futures pourraient accroître les exigences environnementales pour les processus de production, telles que la consommation d'énergie, les taux de recyclage des déchets et les normes d'émission de poussière.
Normalisation des fiches signalétiques : Les exigences de la norme AWS A5.12 peuvent être adoptées par les normes ISO et GB/T pour former une spécification de sécurité des matériaux unifiée à l'échelle mondiale.

Tendances de mise à jour :
Convergence des normes : les normes ISO, AWS et GB/T seront davantage intégrées pour former un cadre de normes unifié à l'échelle mondiale et réduire les obstacles au commerce.
Mises à jour dynamiques : le cycle de mise à jour standard est raccourci (de 5 à 10 ans à 3 à 5 ans) pour s'adapter aux avancées technologiques et aux demandes du marché.
Normes numériques : Les futures normes pourront être publiées sous forme numérique (par exemple, dans des bases de données en ligne) pour une consultation et une mise à jour en temps réel.

Les mises à jour continues des normes d'électrode de zirconium et de tungstène stimuleront son application dans des domaines de haute précision, respectueux de l'environnement et à haut rendement, répondant ainsi aux besoins du développement industriel mondial.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 10 Méthodes de détection des électrodes de zirconium et de tungstène

L'inspection de la qualité des électrodes de zirconium et de tungstène est un lien essentiel pour garantir leurs performances constantes et la fiabilité de l'application, qui est directement liée à leurs performances dans le soudage au bouclier sous gaz inerte (soudage TIG), la découpe au plasma et la pulvérisation au plasma. La méthode de détection couvre divers aspects tels que la composition chimique, les propriétés physiques, la microstructure, les performances des électrodes et l'adaptabilité environnementale, et doit être conforme aux normes internationales (telles que ISO 6848, AWS A5.12) et aux normes nationales (telles que GB/T 4187). Ce chapitre aborde en détail les méthodes de détection des électrodes de zirconium-tungstène, analyse leurs principes, les exigences en matière d'équipement et les processus d'essai, traite de l'étalonnage et de la normalisation des équipements d'essai, et fournit des problèmes et des solutions courants pour fournir des conseils techniques pour la production et l'application.

10.1 Détection de la composition chimique des électrodes de zirconium et de tungstène

Les tests de composition chimique sont utilisés pour vérifier la pureté de la matrice de tungstène, la teneur en zircone (ZrO_2) et la teneur en impuretés des électrodes de tungstène en zirconium afin d'assurer la conformité aux exigences standard (par exemple, le WZ3 contient 0,15 % à 0,4 % de ZrO_2, le WZ8 contient 0,7 % à 0,9 % de ZrO_2 et les impuretés <0,005 %). Les méthodes d'analyse couramment utilisées comprennent l'analyse spectroscopique et le titrage chimique.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

10.1.1 Analyse spectrale

L'analyse spectrale est la méthode principale pour la détection de la composition chimique des électrodes de zirconium et de tungstène en détectant les caractéristiques spectrales des matériaux émis ou absorbés pour déterminer leur composition chimique. L'équipement courant comprend la spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) et la spectroscopie de fluorescence X (XRF).

Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS)

Principe : L'échantillon est ionisé dans un plasma à haute température (environ 6000-10 000°C) pour générer des ions chargés, qui sont séparés et mesurés par spectrométrie de masse pour déterminer le contenu élémentaire.

Processus:

Préparation de l'échantillon : Dissoudre un échantillon d'électrode de tungstène de zircon (environ 0,1 à 1 g) dans une solution acide (par exemple, acide nitrique + acide fluorhydrique) pour préparer une solution homogène.

Étalonnage de l'instrument : Étalonnez l'ICP-MS à l'aide de solutions étalons (telles que les étalons de tungstène et de zirconium) pour garantir une précision de ± 0,001 %.

Analyse : La solution de l'échantillon a été introduite dans le plasma à l'aide d'un atomiseur pour détecter le tungstène (>99,5 %) et la zircone (WZ3 : 0,15 % à 0,4 % ; WZ8 : 0,7 % à 0,9 %) et les impuretés (telles que Fe, Si, C<0,005 %).

Traitement des données : Analysez les données spectrales à l'aide d'un logiciel pour générer des rapports de composition.

Avantage:

Haute sensibilité : la limite de détection peut atteindre le niveau ppb (10^{-9}).

Haute précision : Erreur <± 0,001 %, adapté à la détection d'impuretés à l'état de traces.

Analyse multi-éléments : plusieurs éléments (par exemple, W, Zr, Fe, Si) peuvent être détectés simultanément.

Limites : Préparation complexe des échantillons, acides forts et coûts d'équipement élevés (environ 50 à 1 million de dollars américains).

Applications : Largement utilisé pour la certification de qualité des électrodes de zirconium et de tungstène haut de gamme (telles que WZ8), répondant aux exigences des industries aérospatiale et nucléaire.

Spectroscopie de fluorescence X (XRF)

Principe : Les rayons X excitent les atomes de l'échantillon, produisent une fluorescence caractéristique et déterminent le contenu élémentaire en détectant l'intensité de la fluorescence.

Processus:

Préparation de l'échantillon : L'échantillon de l'électrode de zirconium et de tungstène est poli à Ra<0,4 μm ou transformé en pastilles de poudre.

Étalonnage de l'instrument : Étalonnez l'instrument XRF à l'aide d'échantillons standard (p. ex., tungstène de haute pureté, zircone).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Analyse : Les échantillons sont exposés aux rayons X, l'intensité de fluorescence du tungstène, de la zircone et des impuretés est détectée et le contenu est analysé.
Traitement des données : Génère des rapports sur les ingrédients avec une précision ± 0,01 %.

Avantage:
Non destructif : Pas besoin de dissoudre l'échantillon, adapté aux tests de produits finis.
Facile à utiliser : le temps d'inspection < de 5 minutes, adapté au contrôle qualité en ligne.
Coût inférieur : L'appareil coûte environ 10 à 300 000 dollars.

Limites : La sensibilité est inférieure à celle de l'ICP-MS (la limite de détection est d'environ ppm), et la capacité de détection des impuretés à l'état de traces est limitée.
Applications : Pour la détection rapide de composants dans la production à grand volume, comme la vérification de la teneur en zircone des électrodes WZ3 et WZ8.

10.1.2 Méthode de titrage chimique

Le titrage chimique quantifie la teneur en zircone par réaction chimique et convient aux tests en laboratoire et en petits lots. Les méthodes comprennent :

Principe : La réaction chimique de la zircone avec un réactif spécifique, tel que l'EDTA, est utilisée pour déterminer sa teneur par titrage.
Processus:
Dissoudre l'échantillon d'électrode de zirconium et de tungstène (environ 0,5 à 1 g) dans une solution acide (par exemple, acide nitrique + acide fluorhydrique).
Séparation du zirconium : séparation des ions zirconium par précipitation chimique (par exemple, ajout d'ammoniac pour former une précipitation de $Zr(OH)_4$).
Titrage : Titrer les ions zirconium avec une solution étalon d'EDTA, ajouter un indicateur (par exemple, orange xylène), observer le changement de couleur pour déterminer le point final.
Calcul : La teneur en zircone est calculée en fonction du volume de titrage avec une précision ± 0,02 %.

Avantage:
Faible coût : Pas besoin d'équipement coûteux, adapté aux petits laboratoires.
Hautement ciblé : Spécialement testé pour la teneur en zircone, résultats fiables.

Limitations:
Opération complexe : nécessite la maîtrise des compétences en analyse chimique, ce qui prend beaucoup de temps (environ 1 à 2 heures).
Zircone uniquement : Les autres impuretés ou la teneur en tungstène ne peuvent pas être détectées.

Applications : Pour la vérification de la composition dans les premières étapes de la production d'électrodes de zirconium et de tungstène, ou en tant que méthode complémentaire à l'ICP-MS/XRF.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO2 Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

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
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

10.2 Essais des propriétés physiques des électrodes de zirconium et de tungstène

Les tests de propriétés physiques sont utilisés pour évaluer la dureté, la densité et la porosité des électrodes en zirconium-tungstène, en s'assurant que leurs propriétés mécaniques et leur intégrité structurelle répondent aux exigences de soudage et de coupe.

10.2.1 Essai de dureté

L'essai de dureté évalue la résistance à la déformation des électrodes de zirconium et de tungstène, reflétant leur résistance à l'usure et à l'épuisement dans les arcs à haute température. Les méthodes courantes comprennent les tests de dureté Vickers (HV) et de dureté Rockwell (HRC).

Essai de dureté Vickers

Principe : Appliquez une charge spécifique (généralement 5 à 10 kgf) sur la surface de l'électrode à l'aide d'un pénétrateur diamanté et mesurez la longueur diagonale de l'empreinte pour calculer la valeur de dureté.

Processus:

Préparation de l'échantillon : Polir l'électrode à Ra<0,4 μm et couper en échantillons de section transversale.

Test : À l'aide d'un duromètre Vickers (par exemple, HV-1000), appliquez une charge de 5 kgf et maintenez la pression pendant 10 à 15 secondes.

Mesure : Mesurez la longueur diagonale de l'indentation par microscopie et calculez la dureté (typique : HV 400–500).

Avantages : Haute précision, adapté à la petite taille d'échantillon ; Il peut détecter la dureté d'une zone microscopique.

Limites : L'échantillon doit être poli et la vitesse de test est lente (environ 1 minute par point).

Applications : Utilisé pour évaluer la résistance à l'usure des électrodes de zirconium et de tungstène, assurant la stabilité de la pointe dans le soudage à courant élevé.

Essai de dureté Rockwell

Principe : Appliquer une charge (généralement 60 à 150 kgf) à l'aide d'une tête de pénétrateur à bille d'acier ou à diamant, mesurer la profondeur d'indentation et calculer la valeur de dureté.

Processus:

Préparation de l'échantillon : Polissage de la surface de l'électrode à Ra<0,8 μm.

Test : À l'aide d'un testeur de dureté Rockwell (par exemple, HR-150A), appliquez une charge de 60 kgf et maintenez la pression pendant 5 à 10 secondes.

Mesure : Lecture directe des valeurs de dureté (typique : HRC 40–50).

Avantages : Fonctionnement simple, adapté à une détection rapide.

Limites : La précision est inférieure à la dureté Vickers, ce qui convient aux échantillons de grande taille.

Applications : Pour le criblage rapide de la dureté dans la production de masse.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

10.2.2 Essai de densité et de porosité

Les tests de densité et de porosité sont utilisés pour évaluer la compacité et les défauts internes des électrodes en zirconium-tungstène, affectant leur conductivité thermique et leur résistance à l'épuisement.

Test de densité

Principe : La masse volumique de l'électrode est mesurée selon le principe d'Archimède et le rapport à la masse volumique théorique (environ 19,25 g/cm³) est calculé.

Processus:

Préparation de l'échantillon : Prélever un échantillon d'électrode (10 à 20 mm de longueur), laver et sécher.

Mesure : Les poids à sec et à eau sont mesurés à l'aide de balances électroniques de haute précision (précision ±0,001 g) pour calculer la masse volumique.

Résultats : La densité de l'électrode de tungstène de zirconium de haute qualité était de 95 % à 98 % de densité théorique.

Avantages : simple, rapide, non destructif.

Limites : Incapacité à détecter la distribution interne des pores.

Application : Pour l'évaluation rapide de la qualité des électrodes après frittage.

Test de porosité

Principe : Mesurer la proportion de pores à l'intérieur de l'électrode par observation microscopique ou adsorption de gaz.

Processus:

Microscopie : Les tranches d'électrodes sont polies, la porosité est calculée à l'aide d'un microscope optique ou d'un MEB pour observer la porosité, et la porosité (<0,5 %) est calculée.

Méthode d'adsorption gazeuse : Mesurez le volume des pores à l'aide d'un instrument d'adsorption d'azote (tel que la méthode BET) avec une précision ± 0,01 %.

Avantages : La méthode du microscope est intuitive et la méthode d'adsorption de gaz a une grande précision.

Limites : La méthode de microscopie doit détruire l'échantillon, et la méthode d'adsorption de gaz est coûteuse à utiliser.

Applications : Utilisé pour le contrôle de la qualité des électrodes haut de gamme telles que WZ8 pour garantir l'absence de défauts internes.

10.3 Analyse de la microstructure des électrodes de zirconium et de tungstène

L'analyse de la microstructure est utilisée pour étudier la taille des grains, la distribution de la zircone et la composition de phase des électrodes de zirconium et de tungstène, qui affectent directement leur stabilité d'arc et leur résistance à l'épuisement. Les méthodes courantes comprennent la microscopie électronique à balayage (MEB) et la diffraction des rayons X (XRD).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

10.3.1 Microscopie électronique à balayage (MEB)

Principe : La surface de l'échantillon est balayée par un faisceau d'électrons, générant une image haute résolution qui observe la taille des grains (10-20 μm), la distribution de la zircone et les défauts internes.

Processus:

Préparation de l'échantillon : Les tranches d'électrodes sont polies (Ra<0,2 μm) ou la morphologie de la fracture est préservée après la fracture.

Test : À l'aide d'un MEB (par exemple, JEOL JSM-7800F), réglez la tension d'accélération de 10 à 20 kV et le grossissement de 100 à 5000x.

Analyse : Analysez la distribution de la zircone en combinaison avec la spectroscopie d'énergie (EDS) et vérifiez la taille et la porosité des grains.

Avantage:

Haute résolution : Des particules de zircone à l'échelle nanométrique (< 100 nm) peuvent être observées.

Multifonctionnel : Combiné à l'EDS, il peut analyser quantitativement la distribution élémentaire.

Limites : Préparation complexe des échantillons et coûts élevés de l'équipement (environ 50 à 1 million de dollars).

Applications : Utilisé pour analyser l'uniformité de la zircone et la qualité de frittage des électrodes WZ8 afin d'assurer la stabilité de l'arc.

10.3.2 Diffraction des rayons X (DRX)

Principe : La structure cristalline et la composition en phase du cristal sont analysées par diffraction des rayons X et du cristal de l'échantillon, et la forme cristalline de la matrice de tungstène et de la zircone est vérifiée.

Processus:

Préparation de l'échantillon : Broyez l'électrode en poudre ou utilisez directement l'échantillon poli.

Test : À l'aide d'un instrument XRD (par exemple, Bruker D8 Advance), les rayons Cu-Kα (longueur d'onde 1,5406 Å) sont réglés à un angle de balayage de 10° à 90°.

Analyse : Comparez les pics de diffraction avec les spectres standard pour confirmer les phases de tungstène (structure cubique centrée sur le corps) et de zircone (type cristallin monoclinique), vérifiez les phases hétérogènes.

Avantage:

Non destructif : adapté à l'inspection du produit fini.

Haute précision : peut détecter des traces d'impuretés (telles que les oxydes).

Limites : La morphologie microscopique ne peut pas être observée directement, et une analyse MEB est nécessaire.

Applications : Utilisé pour vérifier la structure cristalline des électrodes en zirconium-tungstène, garantissant qu'aucune phase parasite n'affecte les performances.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

10.4 Essai de performance de l'électrode de zirconium et de tungstène

Les tests de performance des électrodes évaluent les performances des électrodes en zirconium-tungstène dans le soudage ou le coupage dans le monde réel, y compris la stabilité de l'arc, les performances d'allumage et la longévité.

10.4.1 Essai de stabilité de l'arc

Principe : Mesurez le taux de dérive et la stabilité de forme de l'arc en simulant les conditions de soudage TIG ou de découpe plasma.

Processus:

Équipement d'essai : Utilisez une soudeuse TIG AC à haute fréquence (par exemple, Miller Dynasty 400) avec un courant de 150 à 400 A et de l'argon (débit de 10 à 20 L/min).

Conditions d'essai : diamètre de l'électrode 2,4 à 3,2 mm, angle de pointe de 45° à 60°, matériau de soudage en alliage d'aluminium (par exemple 6061).

Mesure : La forme de l'arc a été enregistrée par une caméra à grande vitesse (fréquence d'images >1000 fps) et la vitesse de dérive (<5 %) a été analysée.

Résultats : Le taux de dérive de l'arc de l'électrode WZ8 était de <3 % à courant élevé, ce qui était meilleur que celui de WZ3 (<5 %).

Avantage : reflète directement les performances de l'électrode dans les applications pratiques.

Limites : Les conditions de test doivent être strictement contrôlées et l'équipement est complexe.

Applications : Utilisé pour vérifier la stabilité de l'arc des électrodes en zirconium et tungstène dans le soudage AC, répondant aux besoins de la fabrication aérospatiale et automobile.

10.4.2 Efficacité d'allumage et essai de durée de vie

Test de performance d'allumage

Principe : Mesurez la tension d'allumage et le taux de réussite de l'électrode dans des conditions AC ou DC à haute fréquence.

Processus:

Équipement d'essai : Poste à souder TIG haute fréquence, courant réglé 50–150 A (WZ3) ou 150–400 A (WZ8).

Conditions d'essai : diamètre de l'électrode 1,6 à 3,2 mm, angle de pointe de 30° à 60°, allumage répété 100 fois.

Mesure : La tension d'allumage (<50 V) et le taux de réussite (>99 %) sont enregistrés.

Résultats : La tension d'allumage de l'électrode de tungstène de zirconium était inférieure à celle de l'électrode de tungstène pur (environ 60-80 V), et WZ8 était meilleure que celle de WZ3.

Applications : Assurer les performances d'allumage rapide des électrodes dans le soudage automatisé.

Test de durée de vie

Principe : Le taux d'épuisement de la pointe de l'électrode et la durée de vie sont mesurés dans des conditions de soudage standard.

Processus:

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Conditions d'essai : soudage AC, courant 200-400 A, fonctionnement continu pendant 1 à 2 heures.
Mesure : Mesurez l'épuisement de la pointe (<0,1 mm/h) à l'aide d'un microscope ou d'un télémètre laser.
Résultats : La durée de vie de l'électrode WZ8 est d'environ 2 à 3 fois celle de l'électrode de tungstène pur, et celle de WZ3 est d'environ 1,5 à 2 fois.

Applications : Utilisé pour évaluer la durabilité des électrodes dans le soudage à haute résistance.

10.5 Essai d'adaptabilité environnementale de l'électrode de zirconium et de tungstène

Les tests d'adaptabilité environnementale évaluent les performances des électrodes en zirconium-tungstène dans des environnements spéciaux (tels qu'une humidité élevée, des températures élevées et des gaz corrosifs) et simulent des scénarios d'application pratiques.

Test d'environnement à humidité élevée

Procédé : Le soudage TIG a été effectué dans un environnement avec une humidité > 80 % avec un courant de 150 à 300 A pour observer la stabilité de l'arc et la contamination de surface.
Résultats : La capacité anti-pollution de l'électrode WZ8 était meilleure que celle de WZ3, et le taux de dérive de l'arc était de <5 %.
Applications : Vérifier la fiabilité des électrodes dans l'ingénierie maritime et la construction navale.

Essais d'environnement à haute température

Procédé : Fonctionnement continu en découpe plasma (température > 10 000 °C) pendant 2 heures, mesure du taux de brûlure de la pointe (<0,1 mm/h).
Résultats : La durée de vie de l'électrode WZ8 était meilleure que celle des électrodes de tungstène pur et de tungstène cérium à haute température.
Application : Utilisé pour la pulvérisation de moteurs d'avion et la coupe de machines lourdes.

Essai de gaz corrosif

Procédé : Souder dans un environnement contenant du chlore ou du sulfure pour observer la corrosion de la surface des électrodes et la stabilité de l'arc.
Résultats : La stabilité chimique de l'électrode de tungstène de zirconium a rendu sa surface exempte de corrosion évidente, et la stabilité de l'arc a été > 95 %.
Applications : Validation de l'applicabilité des électrodes dans l'industrie chimique.

10.6 Étalonnage et normalisation de l'équipement d'essai des électrodes de zirconium et de tungstène

L'étalonnage et la normalisation de l'équipement d'essai sont essentiels pour garantir l'exactitude et la répétabilité des résultats d'essai, et doivent être conformes aux normes internationales (par exemple, ISO/IEC 17025).

Méthode d'étalonnage :

ICP-MS/XRF : étalonné à l'aide d'échantillons standard (par exemple, tungstène de haute pureté, zircone) tous les 3 à 6 mois avec une précision ± de 0,001 %.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Duromètre : étalonné à l'aide d'un bloc de dureté standard (par exemple HV 400) avec une erreur de <± 2 HV.
MEB/DRX : Étalonnez régulièrement le faisceau d'électrons et la source de rayons X pour garantir la résolution et la précision du pic de diffraction.
Équipement d'essai d'arc : étalonné avec une source de courant standard et une caméra haute vitesse avec une erreur de <± 5 A.

Exigences de normalisation :
Respectez les méthodologies de test ISO 6848, AWS A5.12 et GB/T 4187.
Enregistrez les données d'étalonnage et établissez des fichiers de traçabilité.
Participer régulièrement à des essais comparatifs internationaux (par exemple, des comparaisons en laboratoire organisées par l'ISO/TC 44).

Technologie moderne : Les systèmes d'étalonnage automatisés et les logiciels de gestion des données tels que LabVIEW sont utilisés pour améliorer l'efficacité de l'étalonnage et la fiabilité des données.

10.7 Problèmes courants et solutions dans la détection des électrodes de zirconium tungstène
Problème 1 : Biais de détection de la composition chimique
Phénomène : Les résultats des tests ICP-MS ou XRF s'écartent des valeurs standard (par exemple, la teneur en zircone dépasse la norme).
Cause : Préparation inégale de l'échantillon, instrument non calibré ou interférence d'impuretés.
Solution:
Optimisez la préparation des échantillons avec un temps de dissolution prolongé (>2 heures) pour assurer l'homogénéité.
Étalonnez régulièrement l'instrument, en vérifiant avec des échantillons standard.
Des tests d'échantillons à blanc sont ajoutés pour éliminer les interférences d'impuretés.

Problème 2 : Essai de dureté incohérent
Phénomène : Les valeurs de dureté varient considérablement d'une région à l'autre (>±10 HV).
Cause : Surface de l'échantillon inégale ou points de test mal sélectionnés.
Solution:
Améliorer la précision du polissage (Ra<0,2 μm).
Augmentez le nombre de points de test (> 5) et prenez la moyenne.

Problème 3 : Analyse de la microstructure anormale
Phénomène : Le MEB ou la DRX présente une distribution inégale de la zircone ou des phases hétérogènes.
Cause : Défaut dans le processus de frittage ou contamination de la préparation des échantillons.
Solution:
Paramètres de frittage optimisés (température 1800–2200°C, maintien pendant 1–2 heures).
Lavez les échantillons avec des réactifs de haute pureté pour éviter toute contamination.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Problème 4 : Le test de performance de l'arc est instable

Phénomène : Taux de dérive de l'arc >5 % ou taux d'échec d'allumage élevé.

Cause : Angle de pointe de l'électrode incohérent ou conditions de test instables.

Solution:

Assurer une tolérance d'angle de pointe ±2°, usinée à l'aide d'une rectifieuse CNC.

Conditions d'essai normalisées (p. ex., débit d'argon de 10 à 20 L/min).

Grâce à des méthodes d'essai systématiques et à des mesures de résolution de problèmes, le contrôle de la qualité des électrodes de zirconium et de tungstène peut répondre aux besoins des applications industrielles de haute précision.

Chapitre 11 Tendance future du développement des électrodes de zirconium et de tungstène

En tant que matériau clé dans le soudage au gaz inerte au tungstène (soudage TIG), la découpe au plasma et la pulvérisation au plasma, les électrodes en zirconium et en tungstène occupent une position importante dans l'aérospatiale, la construction automobile, l'industrie nucléaire et d'autres domaines en raison de leur excellente stabilité de l'arc, de leur résistance à l'épuisement et de leurs capacités anti-pollution. Avec le développement rapide de nouvelles technologies de matériaux, la production intelligente, la fabrication verte et les industries émergentes, l'optimisation des performances et les domaines d'application des électrodes en zirconium et tungstène ne cessent de s'étendre. Ce chapitre explorera les tendances futures du développement des électrodes de zirconium

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

et de tungstène, y compris l'application de nouveaux matériaux et technologies, les orientations d'optimisation des performances, les tendances en matière de production intelligente et automatisée, la fabrication verte et le développement durable, et le potentiel dans les domaines émergents, dans le but de fournir une référence prospective pour le développement de l'industrie.

11.1 Développement de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies

Le développement rapide de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies offre de nouvelles possibilités pour améliorer les performances des électrodes de zirconium et de tungstène et optimiser le processus de production. Ce qui suit analyse sa tendance de développement sous deux aspects : l'innovation matérielle et la technologie des processus.

Développement de nouveaux matériaux

Dopage à la zircone à l'échelle nanométrique : Les électrodes traditionnelles en zircone et en tungstène (par exemple, WZ3, WZ8) utilisent de la zircone à l'échelle du micron (taille des particules de 0,1 à 1 μm) comme dopant, et se tourneront vers la zircone à l'échelle nanométrique (<100 nm) à l'avenir. La zircone à l'échelle nanométrique a une énergie de surface et une dispersion plus élevées, ce qui peut améliorer considérablement la stabilité de l'arc et la résistance à l'épuisement de l'électrode. Par exemple, des études ont montré que les électrodes WZ8 dopées au nano-ZrO_2 peuvent augmenter la durée de vie de 20 à 30 % dans le soudage AC à courant élevé (300-400 A).

Matériaux composites dopés : En dotant plusieurs oxydes (tels que ZrO_2+La_2O_3, ZrO_2+CeO_2) en même temps), ce qui permet de combiner les avantages de l'électrode de tungstène de zirconium (stabilité de l'arc), de l'électrode de tungstène de lanthane (performance d'allumage) et de l'électrode de tungstène de cérium (avantage en termes de coût). Les électrodes dopées composites ont des granulomètres plus petits (5 à 10 μm) et sont plus résistantes à l'épuisement, ce qui les rend adaptées au soudage de haute précision et à la pulvérisation plasma.

Nouveaux matériaux matriciels : Explorez des composites à base de tungstène tels que les composites en carbure de tungstène-tungstène comme substrats pour améliorer la dureté (HV 500-600) et la résistance à l'usure des électrodes, prolongeant ainsi leur durée de vie dans des environnements plasma à haute température.

Revêtements fonctionnels : L'application de revêtements céramiques à l'échelle nanométrique (tels que la zircone ou le nitrure de titane) à la surface des électrodes de zirconium et de tungstène peut encore améliorer la résistance à la contamination et la finition de surface (Ra<0,2 μm), réduisant ainsi l'adhérence des contaminants pendant le soudage.

Développement de nouvelles technologies

Fabrication additive (impression 3D) : Les techniques de fabrication additive peuvent être utilisées pour produire des ébauches d'électrodes en zirconium et en tungstène avec des structures complexes, optimisant les performances des électrodes en contrôlant avec précision la distribution de la zircone et la taille des grains. Par exemple, la technologie de fusion sélective par laser (SLM) permet un dopage uniforme du ZrO_2 à l'échelle nanométrique et réduit la porosité (<0,3 %).

Amélioration de la pulvérisation de plasma : La technologie de pulvérisation de plasma est introduite dans la production d'électrodes pour pulvériser de la zircone à l'échelle nanométrique sur la surface de la matrice de tungstène afin de former une couche de dopage uniforme et d'améliorer

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

la résistance de l'électrode à l'épuisement.

Technologie de frittage par micro-ondes : Le frittage par micro-ondes (fréquence 2,45 GHz) permet un chauffage rapide et uniforme, raccourcit le temps de frittage (de 4 à 6 heures à 2 à 3 heures), réduit la croissance des grains (la taille des grains est contrôlée à 5-10 μm) et améliore les propriétés mécaniques et la stabilité de l'arc des électrodes.

Nanotechnologie de surface : Grâce au traitement de surface au laser ou à la technologie de modification par faisceau d'ions, des structures cristallines à l'échelle nanométrique se forment à la surface des électrodes, améliorant encore la dureté de surface et les capacités anti-pollution. Par exemple, les électrodes WZ8 traitées au laser ont une dureté de surface allant jusqu'à HV 550 et une augmentation de 15 % de la résistance à la contamination.

L'application de ces nouveaux matériaux et technologies favorisera le développement d'électrodes en zirconium et de tungstène dans le sens de performances plus élevées, d'un coût inférieur et d'un plus grand respect de l'environnement, répondant aux exigences exigeantes de l'aérospatiale, de l'industrie nucléaire et d'autres domaines.

11.2 Direction d'optimisation des performances de l'électrode de zirconium et de tungstène

L'optimisation des performances des électrodes en zirconium-tungstène est au cœur du développement futur, en se concentrant sur la stabilité de l'arc, les performances d'allumage, la résistance à la perte de brûlure, la résistance à la pollution et la stabilité à haute température.

Stabilité de l'arc

Direction de l'optimisation : Réduire le travail d'échappement d'électrons (de 2,7-3,0 eV à 2,5-2,7 eV), améliorer la concentration de l'arc et réduire le taux de dérive (cible <2 %) grâce au dopage à la zircone à l'échelle nanométrique et au dopage composite.

Parcours technique :

Des techniques de mélange à haute uniformité, telles que la dispersion par ultrasons, sont utilisées pour assurer une distribution uniforme de la zircone et réduire les zones d'instabilité de l'arc.

Optimisez la conception de la géométrie de la pointe (par exemple, angle de pointe de 45° à 60°, rayon de courbure de 0,1 à 0,2 mm) pour améliorer la focalisation de l'arc.

L'analyse d'arc assistée par l'IA a été introduite pour optimiser le taux de dopage et les paramètres de processus en surveillant la forme de l'arc en temps réel (photographie à grande vitesse, > 1000 fps).

Objectif de l'application : Améliorer la stabilité des électrodes de zirconium et de tungstène dans le soudage AC à courant élevé (400-600 A) afin de répondre aux besoins de soudage des alliages épais d'aluminium et de magnésium.

Performances d'allumage

Direction d'optimisation : réduire la tension d'allumage (cible <40 V) et augmenter le taux de réussite de l'allumage (>99,5 %), en s'adaptant aux équipements de soudage automatisés à haute fréquence.

Parcours technique :

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

La zircone à l'échelle nanométrique est utilisée pour améliorer la capacité d'émission d'électrons de la surface de l'électrode.
Le processus de polissage de surface (Ra<0,1 μm) est optimisé pour réduire l'impact des défauts de surface sur l'allumage.
Développer de nouvelles électrodes dopées composites (telles que ZrO_2+La_2O_3) et combiner les avantages d'allumage des électrodes lanthane-tungstène.

Objectif de l'application : Améliorer l'efficacité de l'électrode de zirconium et de tungstène dans la ligne de production de soudage TIG automatisée et réduire le taux d'échec de l'allumage.

Résistance aux brûlures

Direction d'optimisation : Prolongez la durée de vie de l'électrode (objectif : durée de vie WZ8 >150 heures, WZ3>100 heures) et réduisez le taux de brûlure de la pointe (<0,05 mm/h).
Parcours technique :
Des techniques de frittage par micro-ondes ou par plasma ont été utilisées pour optimiser la taille des grains (5 à 10 μm) et augmenter la densité (> 98 % de densité théorique).
Introduire des revêtements céramiques à l'échelle nanométrique (tels que la zircone ou l'alumine) pour améliorer la résistance à haute température de la pointe (> 3000°C).
Optimisez le système de refroidissement (p. ex., mandrin refroidi à l'eau) pour réduire la température de la pointe de l'électrode.

Objectif de l'application : Prolonger la durée de vie des électrodes en zirconium et tungstène dans la découpe plasma et la pulvérisation, et réduire les coûts de production.

Résistance à la pollution

Direction de l'optimisation : améliorer les performances antisalissure de l'électrode dans les environnements contenant de l'oxyde (par exemple, Al_2O_3, MgO) ou des gaz corrosifs, et maintenir la stabilité de l'arc (>98 %).
Parcours technique :
Améliore l'état de surface (Ra<0,1 μm) et réduit l'adhérence des contaminants.
Développer des revêtements anti-contamination (tels que le nitrure de titane ou le carbure de tungstène) pour améliorer la stabilité chimique.
Optimiser le rapport des gaz protecteurs (p. ex., 70 % d'argon + 30 % d'hélium) pour réduire la formation d'oxyde.

Objectif de l'application : Améliorer la fiabilité des électrodes en zirconium et tungstène dans des environnements complexes tels que l'ingénierie maritime et les industries chimiques.

Stabilité à haute température

Direction d'optimisation : Améliorer la stabilité de l'électrode dans un environnement plasma à haute température (>10 000°C), réduire les contraintes thermiques et les micro-fissures.
Parcours technique :
La matrice composite (telle que le carbure de tungstène-tungstène) est utilisée pour améliorer la

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

conductivité thermique (>100 W/m·K) et la résistance aux chocs thermiques.
Optimisez les processus de traitement thermique (par exemple, recuit sous vide, 1200-1600°C) pour éliminer les contraintes internes.
L'analyse par éléments finis (FEA) a été introduite pour optimiser la conception des électrodes et réduire la déformation à haute température.

Objectifs de l'application : Répondre aux exigences à haute température de la pulvérisation de moteurs d'avion et du soudage de l'industrie nucléaire.

Ces orientations d'optimisation stimuleront la compétitivité des électrodes en zirconium-tungstène dans les applications de haute précision et à haute résistance afin de répondre aux besoins industriels futurs.

11.3 Tendances de la production intelligente et automatisée

La production intelligente et automatisée est la tendance future dans la fabrication d'électrodes de zirconium et de tungstène, améliorant considérablement l'efficacité de la production, la qualité et la cohérence des produits.

Système de production intelligent

Internet industriel des objets (IIoT) : surveillance en temps réel des paramètres de production (tels que la vitesse de broyage, la température de frittage, la tension d'arrachement) à l'aide de capteurs et de systèmes d'acquisition de données pour réaliser une gestion numérique de l'ensemble du processus. Par exemple, les systèmes IIoT peuvent réduire les taux de rebut à <1 %.
Optimisation de l'intelligence artificielle (IA) : Les algorithmes d'apprentissage automatique sont utilisés pour optimiser les paramètres du processus, tels que l'ajustement automatique du taux de dopage de la zircone et de la température de frittage en analysant les images MEB et les données d'essai d'arc, avec une erreur <± 0,01 %.
Technologie de jumeau numérique : établissez un modèle de jumeau numérique de la ligne de production d'électrodes pour simuler le traitement des matières premières, le pressage, le frittage et d'autres processus afin de prévoir les problèmes de qualité et d'optimiser l'efficacité de la production (amélioration de 10 à 20 %).

Ligne de production automatisée

Broyage et mélange automatisés : Un broyeur planétaire à boulets contrôlé par robot et un mélangeur en V sont utilisés pour obtenir un fonctionnement continu et sans personnel, et l'uniformité du mélange > de 99,5 %.
Pressage et formage automatisés : La presse isostatique à froid (CIP) est équipée d'un système de chargement et de déchargement automatique pour presser plusieurs billettes (> 100 pièces/lot) dans une seule presse, augmentant ainsi l'efficacité de la production de 30 %.
Usinage et inspection automatisés : Les machines de dessin CNC et les machines de découpe laser permettent un usinage précis (tolérance ± 0,02 mm) et intègrent des équipements d'inspection en ligne (par exemple, XRF, télémètre laser) pour réduire les interventions manuelles.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Avantages et défis
Avantages : efficacité de production accrue (>30 %), réduction des coûts de main-d'œuvre (>20 %) et qualité constante (tolérance <± 0,02 mm).
Défi : Investissement initial élevé (environ 100 à 5 millions de dollars américains pour les équipements intelligents) et formation du personnel professionnel et technique.
Solution : Réduisez les coûts d'équipement grâce à la conception modulaire et à la technologie cloud, et améliorez les compétences des employés grâce à une plateforme de formation en ligne.

La tendance de la production intelligente et automatisée favorisera le développement de la fabrication d'électrodes de zirconium et de tungstène dans le sens de l'efficacité, de la précision et du faible coût pour répondre aux besoins de l'industrialisation à grande échelle.

11.4 Fabrication verte et développement durable

La fabrication verte et le développement durable sont des orientations de développement importantes pour l'industrie des électrodes de zirconium et de tungstène, stimulées par les réglementations environnementales mondiales telles que REACH de l'UE et la loi chinoise sur la protection de l'environnement.

Technologie de production verte

Frittage à faible consommation d'énergie : La technologie de frittage par micro-ondes ou plasma est utilisée pour réduire la consommation d'énergie de 30 à 40 % et réduire les émissions de carbone. Par exemple, un four de frittage par micro-ondes consomme environ 60 % de l'énergie d'un four de frittage sous vide conventionnel.
Recyclage des déchets : Développer une technologie de recyclage de la poudre de tungstène et de la zircone afin d'augmenter le taux de récupération des déchets (tels que la poussière de broyage, les déchets de coupe) dans le processus de production à >90 %. Par exemple, China Tungsten High-tech a atteint un taux de récupération de la poudre de tungstène de 95 %.
Procédé sans contamination : Utilisez des lubrifiants respectueux de l'environnement (tels que des lubrifiants à base d'eau) au lieu des lubrifiants graphite traditionnels pour réduire la contamination lors de l'emboutissage et du polissage.

Matériaux écologiques

Électrode non radioactive : La nature non radioactive des électrodes de zirconium et de tungstène en fait une alternative idéale aux électrodes de tungstène au thorium (WT20) et est conforme à la réglementation REACH. Les normes futures pourraient interdire complètement l'utilisation d'électrodes au thorium et au tungstène.
Emballage dégradable : Le remplacement des emballages en plastique traditionnels par des matériaux biodégradables tels que les plastiques biosourcés réduit la pollution de l'environnement.
Matériaux à faible teneur en impuretés : En optimisant le processus de purification des matières premières, la teneur en impuretés (<0,003 %) est réduite et les émissions de gaz d'échappement dans le processus de production sont réduites.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Chaîne d'approvisionnement durable

Gestion de la chaîne d'approvisionnement verte : Collaborez avec les fournisseurs de minerai de tungstène et de zircone, en privilégiant les fournisseurs conformes à la certification ISO 14001, en garantissant le respect de l'environnement dans l'extraction et le traitement des matières premières.
Modèle d'économie circulaire : Mettre en place un système de recyclage des électrodes, collecter les électrodes de zirconium et de tungstène usagées, extraire le tungstène et la zircone pour les réutiliser et réduire le gaspillage de ressources.

Dicté par les politiques et le marché

Promotion réglementaire : Les objectifs de pic de carbone et de neutralité carbone de la Chine et le Green New Deal de l'Union européenne exigent que la fabrication réduise la consommation d'énergie et les émissions, et la production d'électrodes de zirconium et de tungstène doit être conforme à ces réglementations.
Incitatifs du marché : Les certifications vertes (telles que ISO 14001, certification de fabrication verte) peuvent améliorer la compétitivité des entreprises et attirer des clients haut de gamme (tels que les entreprises aérospatiales).

La mise en œuvre de la fabrication verte et du développement durable améliorera l'image environnementale de l'industrie des électrodes de zirconium et de tungstène et favorisera sa compétitivité à long terme sur le marché mondial.

11.5 Le potentiel des électrodes de zirconium et de tungstène dans les domaines émergents

Les électrodes en zirconium et tungstène ont un grand potentiel d'applications dans des domaines émergents, stimulés par les nouvelles énergies, la fabrication additive, l'exploration spatiale et le développement de technologies médicales.

Industrie des nouvelles énergies

Éolien et solaire : La fabrication d'éoliennes et d'équipements solaires implique le soudage d'alliages d'aluminium et d'acier inoxydable, l'électrode de zirconium et de tungstène (WZ8) étant préférée pour sa stabilité à l'arc et sa résistance à la pollution. Par exemple, les électrodes WZ8 sont utilisées pour le soudage TIG dans la fabrication de pales d'éoliennes Siemens.
Equipement pour l'énergie hydrogène : La fabrication de réservoirs de stockage d'hydrogène et de piles à combustible nécessite une soudure de haute qualité, et les excellentes performances des électrodes en acier inoxydable et en alliage de nickel répondent à ces besoins.
Potentiel : À mesure que la capacité mondiale d'énergie renouvelable augmente (elle devrait atteindre 5 000 GW d'ici 2030), la demande d'électrodes de zirconium et de tungstène augmentera de 20 à 30 %.

Fabrication additive (impression 3D)

Applications : Les électrodes en zirconium et en tungstène peuvent être utilisées pour le dépôt à l'arc plasma (PAD) dans la fabrication additive afin de créer des composants composites de haute précision à base de tungstène. Par exemple, GE Aviation utilise le dépôt d'arc plasma pour fabriquer des aubes de turbine, et les électrodes de zirconium et de tungstène fournissent un arc plasma stable.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Potentiel : La croissance rapide du marché de la fabrication additive (TCAC >20 %) stimulera l'application d'électrodes en zirconium et tungstène dans la fabrication de haute précision.

Exploration spatiale

Applications : Les électrodes en zirconium et tungstène sont utilisées pour le soudage de matériaux légers (tels que les alliages d'aluminium, les alliages de magnésium) dans les engins spatiaux et les fusées, ainsi que pour la pulvérisation de plasma pour les revêtements résistants aux hautes températures. Par exemple, la fusée Starship de SpaceX est construite avec des électrodes WZ8 pour le soudage TIG.

Potentiel : Avec le développement de l'aérospatiale commerciale (par exemple, SpaceX, Blue Origin), la demande d'électrodes de zirconium et de tungstène dans le soudage à haute fiabilité continuera de croître.

Technologie médicale

Applications : Les électrodes en zirconium et tungstène sont utilisées pour le soudage TIG d'implants médicaux tels que les implants squelettiques en titane et la pulvérisation plasma de revêtements biocompatibles (tels que l'hydroxyapatite). Ses capacités antisalissure garantissent que les soudures sont non toxiques et exemptes de défauts.

Potentiel : Le marché mondial des implants médicaux devrait atteindre 150 milliards de dollars d'ici 2030, et l'application d'électrodes en zirconium et tungstène dans la fabrication médicale de haute précision augmentera considérablement.

Autres domaines émergents

Fabrication microélectronique : Les électrodes en zirconium et tungstène peuvent être utilisées pour le soudage micro-TIG afin de créer des dispositifs semi-conducteurs et des composants électroniques.

Génie maritime : Les électrodes en zirconium et en tungstène offrent des avantages en matière de résistance à la corrosion dans le soudage d'équipements en haute mer, tels que les coques de sous-marins en alliage d'aluminium.

Recherche sur la fusion nucléaire : Les électrodes en zirconium et tungstène ont des applications potentielles dans la pulvérisation de plasma et le soudage dans des dispositifs de fusion tels qu'ITER, répondant aux exigences de haute température et de rayonnement élevé.

Le développement rapide de ces champs émergents offrira un large espace de marché pour les électrodes de zirconium et de tungstène, ce qui stimulera leur innovation technologique et l'expansion de leurs applications.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Chapitre 12 Recyclage et recyclage des électrodes de zirconium et de tungstène

En tant que matériau clé dans le soudage au gaz inerte au tungstène (soudage TIG), la découpe au plasma et la pulvérisation au plasma, les électrodes en zirconium et tungstène sont largement utilisées dans l'aérospatiale, la construction automobile, l'industrie nucléaire et d'autres domaines en raison de leur point de fusion élevé, de leur excellente stabilité à l'arc et de leur résistance à l'épuisement. Cependant, la production d'électrodes de zirconium et de tungstène repose sur les métaux rares que sont le tungstène et le zirconium, qui sont des ressources rares et des coûts d'exploitation minière élevés, et le recyclage et le recyclage sont devenus des moyens importants de parvenir à un développement durable. Ce chapitre aborde en détail le processus de recyclage des électrodes en zirconium et tungstène, la valeur économique du recyclage, le contrôle de la pollution et les réglementations de protection de l'environnement dans le processus de recyclage, ainsi que l'état actuel et la tendance de développement du recyclage au pays et à l'étranger, fournissant une référence pour la fabrication verte et l'économie circulaire pour l'industrie.

12.1 Processus de recyclage des électrodes de rebut

Les électrodes de zirconium et de tungstène mises au rebut proviennent principalement d'électrodes usées après utilisation, coupant les déchets, les produits défectueux et les matériaux de rebut dans le processus de production. Le processus de recyclage vise à séparer, purifier et réutiliser le tungstène et la zircone (ZrO_2), y compris la collecte, le tri, la décomposition, la purification et le

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

retraitement.

Collecte et tri

Collecte : Les électrodes en fin de vie sont collectées dans les ateliers de soudage, les usines de découpe et les entreprises de fabrication par le biais de réseaux de recyclage, souvent transportées vers des centres de recyclage dans des bacs à déchets ou des conteneurs spécialisés.

Tri : Triez selon le type d'électrode (comme WZ3, WZ8), éliminez les électrodes de tungstène sans zirconium (comme le tungstène de thorium, le tungstène de cérium) et les impuretés non métalliques (comme les scories de soudage, les taches d'huile). Les équipements couramment utilisés comprennent :

Séparateur magnétique : élimine les impuretés ferromagnétiques (telles que la teneur en Fe <0,005 %).

Tamis vibrant : sépare les fragments d'électrodes de différentes tailles (trou de tamis de 10 à 50 mm).

Tri manuel : Pour les déchets complexes, une inspection manuelle est utilisée pour garantir l'exactitude de la classification.

Exigences : La pureté de l'électrode de tungstène de zirconium après tri est de >95 % et la teneur en impuretés est de <1 %.

Décomposition et broyage

Broyage mécanique : L'électrode de ferraille est broyée en petites particules (taille des particules de 1 à 10 mm) à l'aide d'un concasseur à mâchoires ou d'un concasseur à marteaux. Caractéristiques de l'équipement :

Puissance : 50–100 kW, traitement 0,5–2 t/h.

Conception étanche à la poussière : Équipé d'un système d'aspiration sous vide pour contrôler les émissions de poussière < 10 mg/m³.

Décomposition chimique : Pour les électrodes fortement contaminées par la surface (telles que les oxydes ou l'huile), le décapage (solution d'acide nitrique ou d'acide fluorhydrique, concentration de 5 à 10 %) est utilisé pour éliminer les impuretés de surface.

Résultats : Les particules broyées étaient adaptées à la purification ultérieure, et le taux d'élimination des contaminants de surface était > 99 %.

purification

Hydrométallurgie : Séparation du tungstène et de la zircone par dissolution chimique et précipitation.

Extraction du tungstène : L'ammoniac (NH_4OH, concentration 10 % à 20 %) est utilisé pour dissoudre les particules broyées afin de former une solution de tungstate d'ammonium, qui est cristallisée et calcinée pour obtenir une poudre de tungstène de haute pureté (pureté >99,9 %).

Extraction de la zircone: L'acide sulfurique (H_2SO_4, concentration 10 % à 15 %) est utilisé pour dissoudre les composés de zirconium, de l'eau ammoniacale est ajoutée pour former un précipité $Zr(OH)_4$ et la poudre de zircone (pureté >99,5 %) est obtenue après calcination.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

CTIA GROUP LTD
Zirconium Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Zirconium Tungsten Electrode

Zirconium tungsten electrode is a non-radioactive welding electrode made by doping a small amount of zirconium oxide (ZrO_2) into a high-purity tungsten base. It is specifically optimized for AC TIG (Tungsten Inert Gas) welding. Its excellent arc stability and outstanding resistance to contamination make it the preferred choice for welding aluminum, magnesium, and their alloys.

2. Types of Zirconium Tungsten Electrode

Grade	Tip Color	ZrO2 Content (wt.%)	Characteristics & Applications
WZ3	Brown	0.2–0.4	Ideal for low to medium intensity AC welding; cost-effective
WZ38	White	0.7–0.9	Industry-standard grade with excellent overall performance

3. Standard Sizes & Packaging of Zirconium Tungsten Electrode

Diameter (mm)	Length (mm)	Regular Coloring	Packing:
1.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10 pcs/box
1.6	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
2.4	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
3.2	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
4.0	150 / 175	Black / Gold / Blue	10pcs/box
Remark	The sizes can be customized		

4. Applications of Zirconium Tungsten Electrode

- Welding of aluminum and aluminum alloys: such as doors, windows, frames, and automotive body structures
- Welding of magnesium and magnesium alloys: widely used in aerospace lightweight components
- AC welding of stainless steel (under specific low-current conditions)
- Precision welding in aerospace, rail transit, pressure vessels, etc.
- Used in automated welding systems and robotic torch assemblies

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
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Pyrométallurgie: La chloration (débit de chlore gazeux de 10 à 20 L/min) est utilisée à des températures élevées (800 à 1000 °C) pour convertir le tungstène et le zirconium en chlorures volatils, qui sont ensuite séparés par distillation.
Résultats : Le taux de récupération du tungstène était de >90 %, le taux de récupération de la zircone était de >85 % et la teneur en impuretés était de < 0,005 %.

Retraité
La poudre de tungstène purifiée et la poudre de zircone sont transformées en ébauches d'électrodes de zirconium et de tungstène par des procédés de broyage, de mélange, de pressage et de frittage (voir chapitre 8). Paramètres clés :
Broyage : À l'aide d'un broyeur à boulets planétaire, affinez à 3-5 μm (tungstène) et 0,1-0,5 μm (zircone).
Mélange : Mélangeur en V avec > uniformité de 99,5 %.
Pressage : Presse isostatique à froid, pression 100-200 MPa, densité des billettes 60 %-70 %.
Frittage : four de frittage sous vide, température 1800–2200°C, densité >98 % de densité théorique.

Avantages du processus :
Récupération élevée : La récupération combinée du tungstène et de la zircone peut atteindre 85 % à 95 %.
Haute pureté : Les matériaux recyclés répondent aux normes ISO 6848 et GB/T 4187 (pureté du tungstène >99,5 %), impuretés <0,005 %).
Rentabilité : Le coût du processus de récupération représente environ 50 à 60 % du coût de production du tungstène vierge.

Défi du processus :
Le tri des déchets complexes est difficile et la technologie de tri automatique doit être optimisée.
Le processus de purification chimique peut produire des déchets liquides acides, qui doivent être strictement contrôlés pour la protection de l'environnement.

12.2 Recyclage et valeur économique des matériaux en zirconium et tungstène
Le recyclage des électrodes de zirconium et de tungstène réduit non seulement le gaspillage de ressources, mais a également une valeur économique importante. En tant que métal rare, le tungstène a des réserves mondiales limitées (environ 3,5 millions de tonnes, données de 2023), et les ressources en zirconium sont également rares, et le recyclage peut efficacement atténuer la pression sur les ressources.

Filières de recyclage
Réutilisation directe : Les électrodes en zirconium-tungstène légèrement usées (longueur > 50 mm, pas de contamination de surface) peuvent être utilisées directement pour les tâches de soudage à faible exigence en nettoyant et en réaffûtant la pointe (angle 45°-60°).
Retraitement de la poudre : La poudre de tungstène purifiée et la poudre de zircone peuvent être réutilisées dans la production d'électrodes de tungstène de zirconium pour les grades WZ3 (0,15 % à 0,4 % de ZrO_2) et WZ8 (0,7 % à 0,9 % de ZrO_2).

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Autres utilisations : La poudre de tungstène recyclée peut être utilisée pour produire du carbure cémenté (comme le WC-Co), de l'acier au tungstène ou des composites à matrice de tungstène ; La zircone peut être utilisée dans les revêtements céramiques ou les matériaux réfractaires.

valeur économique

Économies de coûts : Le coût du recyclage de la poudre de tungstène est d'environ 50 % de celui de la poudre de tungstène vierge, et le coût du recyclage de la zircone est d'environ 60 % de celui de la zircone vierge.

Efficacité des ressources : Chaque tonne d'électrode de tungstène de zirconium récupérée peut réduire l'extraction d'environ 0,9 tonne de minerai de tungstène et de 0,05 tonne de minerai de zirconium, réduisant ainsi les coûts d'extraction.

Taille du marché : Le marché mondial du recyclage du tungstène devrait atteindre 2 milliards de dollars d'ici 2025, avec un taux de croissance annuel d'environ 7 %. Le recyclage des électrodes en zirconium et en tungstène devrait représenter 10 à 15 % de la part de marché en tant que sous-secteur.

Assistance technique

Purification efficace : Les progrès des techniques d'hydrométallurgie et de pyrométallurgie ont amélioré l'efficacité de la récupération, les taux de récupération du tungstène passant de 80 % à plus de 90 %.

Modèle d'économie circulaire : Mettre en place un système de recyclage en boucle fermée pour former une chaîne industrielle complète, de la collecte au retraitement, afin de réduire le gaspillage de ressources.

Défis et solutions

Défi : Les matériaux recyclés peuvent être moins purs que les matériaux vierges, ce qui affecte les performances des électrodes haut de gamme.

Solution : La purification en plusieurs étapes (par exemple, échange d'ions + distillation) garantit une pureté de 99,9 % > matériaux récupérés, répondant ainsi à des applications exigeantes telles que l'aérospatiale.

La valeur économique du recyclage a favorisé le développement de l'industrie du recyclage des électrodes de zirconium et de tungstène, créant des avantages significatifs en termes de coûts et de ressources pour les entreprises.

12.3 Spécifications de contrôle de la pollution et de protection de l'environnement dans le processus de recyclage

Le recyclage des électrodes de zirconium et de tungstène implique un traitement chimique et un traitement à haute température, qui peuvent produire des déchets liquides, des gaz d'échappement et de la poussière, et respectent strictement les réglementations de protection de l'environnement (telles que ISO 14001, EU REACH, la loi chinoise sur la protection de l'environnement).

Types de mesures de pollution et de contrôle

Déchets liquides : Les déchets liquides acides en hydrométallurgie (tels que l'acide nitrique, l'acide

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

fluorhydrique) peuvent contenir des ions de métaux lourds.
Mesures de contrôle :
Traitement de neutralisation : L'hydroxyde de sodium (NaOH) est utilisé pour neutraliser les déchets liquides à un pH contrôlé de 6,5 à 8,5.
Récupération des précipitations : Les métaux lourds sont précipités par l'ajout de floculants (tels que le chlorure de polyaluminium), avec un taux de récupération de > 95 %.
Recyclage : Les déchets liquides traités peuvent être recyclés pour le processus de nettoyage, ce qui réduit les émissions.

Gaz d'échappement : Le chlore (Cl_2) ou l'ammoniac (NH_3) dans la pyrométallurgie peuvent fuir, mettant en danger l'environnement et la santé.
Mesures de contrôle :
Absorption des gaz d'échappement : Le charbon actif ou la lessive (solution de NaOH) est utilisé pour absorber les gaz d'échappement, et la concentration des émissions < de 0,1 mg/m³.
Système fermé : Équipé d'un dispositif d'échappement à pression négative pour éviter les fuites de gaz.

Poussière : La poussière de tungstène et de zircone générée lors du broyage et du broyage peut contaminer l'air.
Mesures de contrôle :
Dépoussiérage efficace : émission de poussières < 10 mg/m³ avec dépoussiéreur à manches ou précipitateur électrostatique.
Fonctionnement humide : ajoutez du brouillard d'eau pendant le broyage et le broyage pour réduire le vol de poussière.

Normes de protection de l'environnement

Normes internationales :
ISO 14001 : Exige des entreprises de recyclage qu'elles établissent un système de gestion environnementale et qu'elles vérifient régulièrement les émissions et les processus d'élimination des déchets.
REACH : L'Union européenne exige que les substances dangereuses (telles que le chrome hexavalent) ne soient pas utilisées ou déchargées pendant le processus de recyclage, et les électrodes en zirconium et tungstène doivent fournir une fiche de données de sécurité (FDS).

Spécifications domestiques :
Loi sur la protection de l'environnement : Le rejet des déchets des entreprises de recyclage est tenu de se conformer à la norme complète de rejet des eaux usées (GB 8978-1996), et la concentration de métaux lourds est < 0,1 mg/L.
Loi sur la prévention et le contrôle de la pollution de l'environnement par les déchets solides : Exige l'élimination appropriée des déchets solides (tels que les scories de sédimentation) dans le processus de recyclage afin d'éviter la pollution secondaire.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Exigences de certification : Les entreprises de recyclage doivent obtenir une certification de fabrication écologique ou une certification d'économie circulaire pour améliorer leur compétitivité sur le marché.

Assistance technique

Technologie d'épuration verte : La technologie d'échange d'ions et de séparation membranaire est utilisée pour réduire la quantité de déchets liquides générés (<0,5 m^3/tonne).

Récupération de la chaleur résiduelle : Installer des chaudières à récupération de chaleur résiduelle en pyrométallurgie pour récupérer la chaleur des gaz d'échappement à haute température et réduire la consommation d'énergie de 20 à 30 %.

Surveillance automatisée : Utilisez des systèmes de surveillance en ligne (par exemple, des analyseurs de DCO, des détecteurs de gaz) pour surveiller les émissions en temps réel afin d'assurer la conformité aux normes environnementales.

Grâce à des réglementations strictes en matière de contrôle de la pollution et de protection de l'environnement, le recyclage des électrodes de zirconium et de tungstène permet d'atteindre une production verte et de répondre aux exigences mondiales en matière de développement durable.

12.4 La situation actuelle et la tendance de développement du recyclage du zirconium et du tungstène au pays et à l'étranger

L'industrie du recyclage des électrodes de zirconium et de tungstène connaît une tendance mondiale rapide, stimulée par la rareté des ressources, les réglementations environnementales et les avantages économiques. Ce qui suit analyse la situation actuelle et l'évolution du développement en Belgique et à l'étranger.

Statut national

Échelle de recyclage : La Chine est le plus grand producteur mondial de tungstène (représentant plus de 80 % de la production mondiale, environ 60 000 tonnes en 2023), et le volume de traitement annuel du marché du recyclage des électrodes de tungstène en zirconium est d'environ 500 à 1 000 tonnes, ce qui représente 10 à 15 % du marché du recyclage du tungstène.

Niveau technique : les technologies d'hydrométallurgie et de pyrométallurgie sont matures, avec un taux de récupération de 85 % à 90 %, mais la technologie de récupération de la zircone à l'échelle nanométrique doit encore être percée.

Soutien politique : « Made in China 2025 » et « Circular Economy Development Strategy » encouragent le recyclage des ressources en tungstène, et certaines régions (comme Ganzhou, Jiangxi) offrent des incitations fiscales et des subventions.

Défis : Le réseau de recyclage n'est pas parfait et les petites et moyennes entreprises de soudage ne disposent pas d'un mécanisme systématique de collecte des électrodes de déchets. Le coût du traitement de protection de l'environnement est élevé.

Statut international

Échelle de recyclage : Le marché mondial du recyclage du tungstène a une capacité de traitement annuelle d'environ 15 à 20 000 tonnes, et la récupération des électrodes de tungstène en zirconium

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

représente environ 10 %, principalement concentrée en Europe (Autriche, Allemagne) et en Amérique du Nord.
Niveau technique : Les pays européens et américains sont à la pointe du tri automatisé et de la technologie de purification verte.
Orientation politique : Le plan d'action de l'UE en faveur de l'économie circulaire et la loi américaine sur la conservation et la récupération des ressources appellent à une récupération plus élevée du tungstène et à une réduction de l'extraction minière primaire.
Défis : Coûts de recyclage élevés et compétitivité insuffisante des petites entreprises de recyclage.

Tendance de développement
Avancées technologiques :
Tri efficace : la reconnaissance visuelle de l'IA et la technologie de tri robotisé sont utilisées pour améliorer l'efficacité du tri des électrodes de déchets (>95 %).
Épuration verte : développement d'une technologie hydrométallurgique sans acide (par exemple biométallurgie) pour réduire les émissions de déchets liquides (<0,2 m³/tonne).
Recyclage à l'échelle nanométrique : Développer une technologie de récupération de la zircone à l'échelle nanométrique pour répondre aux besoins de production d'électrodes haut de gamme telles que WZ8.

Expansion du marché :
Secteurs émergents : Les développements rapides des nouvelles sources d'énergie (éolien, hydrogène), de la fabrication additive et de l'exploration spatiale augmenteront la demande d'électrodes de zirconium et de tungstène, ce qui stimulera la croissance du marché du recyclage (qui devrait atteindre 3 milliards USD d'ici 2030).
Coopération mondiale : Établir un réseau international de recyclage pour faciliter le transport transfrontalier et l'élimination des électrodes usagées.

Soutien aux politiques :
Objectifs de neutralité carbone : les objectifs de « neutralité carbone 2060 » de la Chine et de « zéro émission nette » de l'UE pour 2050 favoriseront la popularisation des technologies de recyclage écologiques.
Formulation standard : Formuler une norme de recyclage des électrodes de tungstène unifiée à l'échelle mondiale (telle que la norme ISO étendue) pour normaliser le processus de recyclage et les exigences de qualité.

Modèle d'économie circulaire :
Mettre en place un système en boucle fermée de « production-utilisation-recyclage-reproduction » pour prolonger le cycle de vie des ressources en tungstène et en zirconium.
Promouvoir le modèle de « location d'électrodes », où les utilisateurs retournent les électrodes usagées aux fabricants afin de réduire les coûts de recyclage.

Le développement continu de l'industrie du recyclage des électrodes de zirconium et de tungstène favorisera le recyclage des ressources, réduira l'impact environnemental et créera des avantages

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

économiques importants pour l'industrie.

Appendice

A. Glossaire

Électrode de tungstène de zirconium : Électrode à base de tungstène dopée à la zircone pour le soudage TIG et la découpe plasma.

Grade : Modèles d'électrodes divisés en fonction de la teneur en zirconium et des performances, tels que WZ3 et WZ8.

Stabilité de l'arc : La capacité de l'électrode à maintenir un arc stable pendant le soudage.

Performance d'allumage : La facilité avec laquelle l'électrode peut démarrer l'arc.

Frittage : Le processus de liaison de particules de poudre dans un matériau dense à des températures élevées.

Dopage : Procédé dans lequel de l'oxyde de zirconium est ajouté à une matrice de tungstène pour améliorer les performances.

Soudage TIG (soudage sous gaz inerte au tungstène) : Soudage à l'arc au tungstène utilisant une protection contre les gaz inertes.

Découpe au plasma : Un processus qui utilise un arc plasma à haute température pour couper le métal.

Microstructure : La structure du grain et de la phase du matériau de l'électrode observée au microscope.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved

Résistance à la combustion : La capacité de l'électrode à résister aux pertes lors d'un arc électrique à haute température.

ISO 6848 : Norme de l'Organisation internationale de normalisation pour la classification et les exigences relatives aux électrodes en tungstène.

AWS A5.12 : Norme de spécification pour les électrodes en tungstène de l'American Welding Society.

B. Références

[1] ISO 6848:2015, Soudage et coupage à l'arc — Électrodes en tungstène non consommables — Classification.

[2] AWS A5.12/A5.12M :2009, Spécification pour les électrodes de tungstène dispersées de tungstène et d'oxyde pour le soudage et le coupage à l'arc.

[3] Miller, J. R., « Électrodes de tungstène pour le soudage TIG : propriétés et applications », Welding Journal, 2018.

[4] Zhang, L., « Avancées dans la fabrication d'électrodes de zirconium et de tungstène », Science et génie des matériaux, 2020.

[5] Wang, H., « Développement d'électrodes à base de tungstène pour le soudage haute performance », Journal of Materials Processing Technology, 2019.

[6] Smith, D. E., « Technologie et matériaux de soudage pour les applications aérospatiales », Aerospace Manufacturing, 2021.

[7] Chen, Y., « Fabrication verte dans la production d'électrodes de tungstène », Journal of Cleaner Production, 2023.

[8] GB/T 4187-2017, électrodes en tungstène.

[9] Smith, D. E., « Techniques de métallurgie des poudres pour les matériaux à base de tungstène », Advanced Materials Processing, 2020.

[10] Liu, J., « Fabrication intelligente dans la production d'électrodes de tungstène », Journal of Manufacturing Systems, 2022.

[11] YS/T 231-2016, électrodes de tungstène pour le soudage.

[12] JB/T 4744-2007, Électrodes en tungstène pour le soudage.

[13] Perspectives mondiales des énergies renouvelables, Agence internationale de l'énergie (AIE), 2023.

[14] Rapport d'analyse de marché : Implants médicaux, Grand View Research, 2024.

[15] Stratégie chinoise de développement de l'économie circulaire, Commission nationale du développement et de la réforme, 2021.

Déclaration de droits d'auteur et de responsabilité légale
Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved