

Enzyklopädie der Komposit-Seltenerd-

Wolframelektrode

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Weltweit führend in der intelligenten Fertigung für die Wolfram-, Molybdän- und
Seltenerdmetallindustrie

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

EINFÜHRUNG IN DIE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, eine hundertprozentige Tochtergesellschaft mit unabhängiger Rechtspersönlichkeit, die von CHINATUNGSTEN ONLINE gegründet wurde, widmet sich der Förderung des intelligenten, integrierten und flexiblen Designs und der Herstellung von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets. CHINATUNGSTEN ONLINE, gegründet 1997 mit www.chinatungsten.com als Ausgangspunkt – Chinas erste erstklassige Website für Wolframprodukte – ist das bahnbrechende E-Commerce-Unternehmen des Landes, das sich auf die Wolfram-, Molybdän- und Seltenerdmetallindustrie konzentriert. Mit fast drei Jahrzehnten umfassender Erfahrung in den Bereichen Wolfram und Molybdän erbt die CTIA GROUP die außergewöhnlichen Design- und Fertigungskapazitäten, die hervorragenden Dienstleistungen und den weltweiten Ruf ihrer Muttergesellschaft und wird zu einem umfassenden Anbieter von Anwendungslösungen in den Bereichen Wolframchemikalien, Wolframmetalle, Hartmetalle, Legierungen mit hoher Dichte, Molybdän und Molybdänlegierungen.

In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE mehr als 200 mehrsprachige professionelle Websites für Wolfram und Molybdän eingerichtet, die mehr als 20 Sprachen abdecken und über eine Million Seiten mit Nachrichten, Preisen und Marktanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden enthalten. Seit 2013 hat der offizielle WeChat-Account "CHINATUNGSTEN ONLINE" über 40.000 Informationen veröffentlicht, fast 100.000 Follower bedient und täglich Hunderttausenden von Branchenexperten weltweit kostenlose Informationen zur Verfügung gestellt. Mit kumulativen Besuchen auf seinem Website-Cluster und seinem offiziellen Konto, die Milliarden von Malen erreichen, hat es sich zu einer anerkannten globalen und maßgeblichen Informationsdrehscheibe für die Wolfram-, Molybdän- und Seltenerdmetallindustrie entwickelt, die 24/7 mehrsprachige Nachrichten, Produktleistungen, Marktpreise und Markttrenddienste bietet.

Aufbauend auf der Technologie und Erfahrung von CHINATUNGSTEN ONLINE konzentriert sich die CTIA GROUP darauf, die personalisierten Bedürfnisse der Kunden zu erfüllen. Unter Verwendung der KI-Technologie entwirft und produziert das Unternehmen gemeinsam mit Kunden Wolfram- und Molybdänprodukte mit spezifischen chemischen Zusammensetzungen und physikalischen Eigenschaften (wie Partikelgröße, Dichte, Härte, Festigkeit, Abmessungen und Toleranzen). Das Unternehmen bietet integrierte Dienstleistungen rund um den Prozess, die von der Werkzeugöffnung über die Probeproduktion bis hin zur Endbearbeitung, Verpackung und Logistik reichen. In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE mehr als 130.000 Kunden weltweit F&E-, Design- und Produktionsdienstleistungen für über 500.000 Arten von Wolfram- und Molybdänprodukten erbracht und damit den Grundstein für eine maßgeschneiderte, flexible und intelligente Fertigung gelegt. Auf dieser Grundlage vertieft die CTIA GROUP die intelligente Fertigung und integrierte Innovation von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets.

Dr. Hanns und sein Team bei der CTIA GROUP haben auf der Grundlage ihrer mehr als 30-jährigen Branchenerfahrung auch Wissens-, Technologie-, Wolframpreis- und Markttrendanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden verfasst und veröffentlicht und diese frei mit der Wolframindustrie geteilt. Dr. Han verfügt seit den 1990er Jahren über mehr als 30 Jahre Erfahrung im E-Commerce und internationalen Handel mit Wolfram- und Molybdänprodukten sowie in der Entwicklung und Herstellung von Hartmetallen und hochdichten Legierungen und ist ein anerkannter Experte für Wolfram- und Molybdänprodukte im In- und Ausland. Das Team der CTIA GROUP hält sich an das Prinzip, der Branche professionelle und qualitativ hochwertige Informationen zur Verfügung zu stellen, und verfasst kontinuierlich technische Forschungsarbeiten, Artikel und Branchenberichte, die auf der Produktionspraxis und den Bedürfnissen der Marktkunden basieren und in der Branche weithin gelobt werden. Diese Erfolge sind eine solide Unterstützung für die technologische Innovation, die Produktförderung und den Branchenaustausch der CTIA GROUP und machen sie zu einem führenden Unternehmen bei der Herstellung und Information von Wolfram- und Molybdänprodukten.



[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Verzeichnis

Kapitel 1 Einleitung

- 1.1 Konzept und Definition der Komposit-Seltenerd-Wolframelektrode
- 1.2 Entwicklungsgeschichte, technischer Hintergrund und Forschungsstand von Seltenerdmetall-Komposit-Wolframelektroden
- 1.3 Die Bedeutung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden in der modernen Industrie

Kapitel 2 Materialzusammensetzung und Klassifizierung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

- 2.1 Grundlegende Eigenschaften von Wolfram-basierten Materialien und Grenzen von reinen Wolframelektroden
- 2.2 Arten und Funktionen von Seltenerdoxiden
- 2.3 Klassifizierungsstandards für Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 2.4 Gängige Modelle und Spezifikationen von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 2.5 Analyse des Einflusses der Materialzusammensetzung von Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen auf die Leistung
- 2.6 Vergleich von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden mit herkömmlichen Thorium-Wolfram-Elektroden

Kapitel 3 Vorbereitungs- und Produktionsprozess und -technologie von Seltenerdmetall-Komposit-Wolframelektroden

- 3.1 Rohstoffaufbereitung und -verhältnis
- 3.2 Detaillierte Erläuterung des pulvermetallurgischen Prozesses
- 3.3 Prozess der Reduzierung
- 3.4 Formgebungs- und Formgebungsprozess
- 3.5 Sinterprozess
- 3.6 Druckaufbereitungstechnik
- 3.7 Oberflächenbehandlung und Beschichtungstechnik
- 3.8 Kontrolle der wichtigsten Parameter im Vorbereitungsprozess
- 3.9 Prozessoptimierung und Analyse häufiger Fehler
- 3.10 Grüne Aufbereitungstechnik
- 3.11 Flussdiagramm für Großproduktionsprozesse

Kapitel 4 Physikalische, chemische und schweißtechnische Eigenschaften von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden

- 4.1 Mechanische Eigenschaften von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 4.2 Thermische Eigenschaften von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden
- 4.3 Elektrische Eigenschaften von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden
- 4.4 Chemische Stabilität und Korrosionsbeständigkeit von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 4.5 Schweißigenschaften von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 4.6 Auswirkungen der Zugabe von Seltenen Erden auf das Gefüge
- 4.7 Vergleich der Leistung von Wolframelektroden

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

- 4.8 Anpassungsfähigkeit von Seltenerd-Verbundelektroden aus Seltenerdmetallen an die Umwelt
- 4.9 Analyse der Ermüdungs- und Lebensdauereigenschaften von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden
- 4.10 Verbund-Seltenerd-Wolframelektroden-Sicherheitsdatenblatt von CTIA GROUP LTD

Kapitel 5 Verwendungen und Anwendungsrichtlinien von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden

- 5.1 Überblick über die Hauptanwendungen von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 5.2 Schweißarten für Verbund-Seltenerd-Wolframelektroden
- 5.3 Industrielle Anwendungsfälle von Seltenerd-Seltenerdmetall-Komposit-Wolframelektroden
- 5.4 Empfohlene Schweißprozessparameter von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 5.5 Vorsichtsmaßnahmen für die Verwendung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden
- 5.6 Lösen häufiger Probleme mit Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 5.7 Anwendungen von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden in aufstrebenden Bereichen
- 5.8 Wirtschaftliche Nutzenanalyse von Seltenerdmetall-Verbundelektroden

Kapitel 6 Produktionsanlagen für Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden

- 6.1 Rohmaterialaufbereitungsanlagen für Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 6.2 Reduktions- und Dotierungsanlagen für Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden
- 6.3 Umformausrüstung für Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 6.4 Sinterausrüstung für Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 6.5 Verarbeitungs-ausrüstung für Verbund-Seltenerd-Wolframelektroden
- 6.6 Oberflächenbehandlungsanlagen für Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 6.7 Zusatzausrüstung für Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 6.8 Auswahl- und Wartungsrichtlinien für Seltenerd-Wolframelektroden-geräte aus Verbundwerkstoffen
- 6.9 Design und Integration von automatischen Produktionslinien für Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 6.10 Sicherheitsausrüstungen und Schutzmaßnahmen für Seltenerd-Komposit-Wolframelektroden

Kapitel 7 In- und ausländische Normen für Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

- 7.1 Nationale Normen für Seltenerdmetall-Komposit-Wolframelektroden
- 7.2 Internationale Normen für Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 7.3 Normen für die Materialzusammensetzung von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 7.4 Leistungsprüfnormen für Seltenerd-Verbundelektroden aus Seltenerdmetallen
- 7.5 Umweltschutz- und Sicherheitsstandards für Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 7.6 Zertifizierungssystem für Seltenerdmetall-Verbundelektroden
- 7.7 Vergleich und Anwendbarkeitsanalyse von Standards für Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen
- 7.8 Neueste Standardaktualisierungen für Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Kapitel 8 Prüfung und Qualitätsprüfung von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden

- 8.1 Leistungsprüfverfahren für Verbund-Seltenerd-Wolframelektroden

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

- 8.2 Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Seltenerdmetall-Komposit-Wolframelektroden
- 8.3 Gefügeanalyse von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden
- 8.4 Nachweis der chemischen Zusammensetzung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden
- 8.5 Defekterkennungstechnologie von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 8.6 Lebensdauerbewertung und Zuverlässigkeitsanalyse von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden
- 8.7 Wichtige Punkte der Qualitätskontrolle von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden

Kapitel 9 Sicherheits- und Umweltaspekte von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden

- 9.1 Vorgaben zur Betriebssicherheit
- 9.2 Gesundheitliche Risiken und Schutzmaßnahmen
- 9.3 Umweltverträglichkeitsprüfung
- 9.4 Recycling- und Wiederverwendungstechnologie
- 9.5 Anforderungen an Lagerung und Transport
- 9.6 Prinzipien der grünen Fertigung
- 9.7 Einhaltung gesetzlicher Vorschriften

Kapitel 10 Zukünftige Entwicklungstrends von Seltenerdmetall-Komposit-Wolframelektroden

- 10.1 Neue Seltenerd-Kombination und Doping-Technologie
- 10.2 Nano-Seltenerdoxid-Dotierung und Diffusionsverstärkung
- 10.3 Integration der KI-Technologie zur intelligenten Optimierung von Schweißparametern
- 10.4 Grüne Produktion und nachhaltige Entwicklung
- 10.5 Anwendungsaussichten in der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie, der medizinischen Fertigung und anderen Bereichen

Anhang

- Glossar
- Referenzen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 1 Einleitung

1.1 Konzept und Definition der Komposit-Seltenerd-Wolframelektrode

Komposit-Seltenerd-Wolframelektrode ist eine Art hochreines Wolfram als Matrix, die mit einer Vielzahl von Seltenerdoxiden (wie Lanthanoxid La_2O_3 , Ceroxid CeO_2 , Yttriumoxid Y_2O_3 , Zirkonoxid ZrO_2 usw.) dotiert ist, fortschrittliche Elektrodenmaterialien, die die Leistung optimieren. Ihr Kern liegt in der "Komposit"-Bauweise, d.h. durch die Synergie mehrerer Seltenerdoxide verbessert die Elektrode die Elektronenemissionskapazität, die Lichtbogenstabilität, die hohe Temperaturbeständigkeit und die Lebensdauer der Elektrode erheblich. Im Vergleich zu herkömmlichen reinen Wolframelektroden oder einzelnen Seltenerd-Wolframelektroden weisen Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden eine bessere Gesamtleistung in Anwendungen wie Schweißen, Schneiden und Schmelzen auf, was sie zu unverzichtbaren Schlüsselmaterialien für die moderne Industrie macht.

Aus der technischen Definition geht hervor, dass sich die zusammengesetzte Seltenerd-Wolframelektrode auf ein nicht schmelzendes Elektrodenmaterial bezieht, das durch Pulvermetallurgie, chemisches Dotieren oder Lösungssprühen durch Dotieren eines Massenanteils von 1 % ~ 4 % Seltenerdoxiden in einer Wolframmatrix hergestellt wird. Es wird hauptsächlich beim Schutzgasschweißen (WIG-Schweißen), Plasmaschweißen, Schneiden, thermischen Spritzen und elektrischen Lichtquellen eingesetzt. Je nach Art und Menge von Seltenerdoxiden können sie in binäre Komposite (wie Cer-Lanthan-Wolfram-Elektroden), ternäre Komposite (wie Cer-Lanthan-Yttrium-Wolfram-Elektroden) und Multikomposit-Elektroden unterteilt werden. Internationale Normen (wie ISO 6848:2015) klassifizieren sie als nicht schmelzende Elektrode, und zu den gängigen Modellen gehören die WL-Serie (Lanthan-Wolfram), die WC-Serie (Cer-Wolfram), die WY-Serie (Yttrium-Wolfram) und kundenspezifische Multi-Komposit-Modelle.

Die Entwicklung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden ergibt sich aus den Einschränkungen herkömmlicher Wolframelektroden. Reine Wolframelektroden haben einen Schmelzpunkt von bis zu $3410\text{ }^\circ\text{C}$ und eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit, aber ihre Elektronenaustrittsarbeit ist hoch (ca. $4,5\text{ eV}$), was zu schwierigen Lichtbögen, instabilen Lichtbögen und schnellem Elektrodenverlust führt. Frühe Thorium-Wolfram-Elektroden (ThO_2 -haltig) verbesserten die Leistung, indem sie die Betriebsfunktion verringerten, aber die Radioaktivität von Thorium stellte eine Gefahr für die Umwelt und die Gesundheit des Bedieners dar. Durch die Einführung von nicht-radioaktiven Seltenerdoxiden behält die Komposit-Seltenerd-Wolframelektrode nicht nur den hohen Schmelzpunkt und die Stabilität von Wolfram bei, sondern reduziert auch die Elektronenaustrittsarbeit erheblich (bis zu $2,0\text{ } \sim\text{ } 2,5\text{ eV}$), verbessert die Lichtbogenstabilität (der Stabilitätsindex kann mehr als 95 % erreichen) und verlängert die Lebensdauer (23-mal länger als reine Wolframelektrode).

In Bezug auf das Gefüge ist die Wolframmatrix der Komposit-Seltenerd-Wolframelektrode mit feinen Seltenerdoxidpartikeln verteilt, die die mechanische Festigkeit und Zähigkeit des Materials erhöhen, indem sie das Kornwachstum hemmen und die Kornstruktur verfeinern. Zum Beispiel reduziert Ceroxid die Arbeitsfunktion und fördert die Elektronenemission; Lanthanoxid verbessert

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

die Lichtbogenstabilität; Yttriumoxid verbessert die mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen; Zirkonoxid verbessert die antioxidativen Eigenschaften. Der synergistische Effekt dieser Seltenerdelemente ermöglicht es, dass die Elektrode bei hohen Stromdichten ($>100 \text{ A/mm}^2$) stabil bleibt, indem die Eigenschaften der Korngrenzen optimiert, die Verflüchtigung bei hohen Temperaturen reduziert und die Rissausbreitung gehemmt wird.

Was den Aufbereitungsprozess betrifft, so können Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden durch mechanisches Mischen oder chemisches Dotieren hergestellt werden. Bei der mechanischen Mischmethode wird Wolframpulver physikalisch mit Seltenerdoxidpulver gemischt, das einfach, aber etwas weniger gleichmäßig ist. Chemische Dotierverfahren erreichen eine Dotierung auf atomarer Ebene durch Lösungssprühen oder Co-Präzipitationstechnologie für eine bessere Gleichmäßigkeit. Die Prozessauswahl wirkt sich auf die Gleichmäßigkeit der Verteilung der Seltenen Erden und die Stabilität der Elektrodeneigenschaften aus, z. B. kann die chemische Dotierung die Größe von Seltenerdoxidpartikeln auf Nanometerebene steuern und so die Haltbarkeit der Elektrode erheblich verbessern.

Das Konzept der Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden deckt auch deren Ausbreitung in aufstrebenden Bereichen ab. So wird es beispielsweise mit Wolframcarbid oder Wolframnitrid zu Verbundwerkstoffen kombiniert, die für Batterieelektroden mit neuer Energie geeignet sind, oder als Katalysatorträger für elektrochemische Reaktionen verwendet. Diese erweiterten Anwendungen sind ein Beispiel für seine Vielseitigkeit und treiben den Übergang von traditionellen Schweißmaterialien zu High-Tech-Sektoren voran. Darüber hinaus ist es aufgrund seiner umweltfreundlichen Eigenschaften (nicht radioaktiv, REACH-konform) eine ideale Alternative zu Thorium-Wolfram-Elektroden und erfüllt damit die weltweite Nachfrage nach nachhaltigen Materialien.

In Bezug auf Leistungsindikatoren umfassen die typischen Spezifikationen von Verbund-Seltenerd-Wolframelektroden einen Durchmesser von 1,0 ~ 10,0 mm, eine Länge von 150 ~ 175 mm, und die Oberfläche kann poliert, oxidiert oder beschichtet werden. Zu den Schlüsselparametern gehören: Elektronenausgangsleistung $< 2,5 \text{ eV}$, Lichtbogenstabilität $> 95\%$, Lichtbogenlebensdauer von 500~1000 Stunden (abhängig von den Prozessbedingungen). Diese Eigenschaften machen es zu einem breiten Einsatz im hochpräzisen Schweißen, in der Luft- und Raumfahrt und in den Bereichen der neuen Energien.

1.2 Entwicklungsgeschichte, technischer Hintergrund und Forschungsstand von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Der Entwicklungsprozess von Seltenerd-Komposit-Wolframelektroden steht in engem Zusammenhang mit der Entwicklung der Schweißtechnik, der Materialwissenschaft und der Anforderungen des Umweltschutzes. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde Wolfram aufgrund seines hohen Schmelzpunkts und seiner chemischen Stabilität als Elektrodenmaterial verwendet, aber die unzureichende Leistung von reinen Wolframelektroden schränkte ihre Anwendung ein. Im Jahr 1913 wurde eine Thoriumwolframelektrode (mit 1% ~ 2% ThO_2) eingeführt, die die Lichtbogenleistung erheblich verbesserte, indem sie die Arbeitsfunktion reduzierte und beim WIG-

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Schweißen weit verbreitet war. Die Radioaktivität von Thorium hat jedoch nach und nach Aufmerksamkeit erregt, insbesondere im Zusammenhang mit immer strengeren Umweltauflagen.

Im Jahr 1973 entwickelte das Team von Wang Juzhen in der Shanghai Bulb Factory in China erfolgreich eine Cer-Wolfram-Elektrode (mit CeO_2), die einen bahnbrechenden Durchbruch bei Seltenerd-Wolfram-Elektroden darstellte. Cer-Wolfram-Elektroden ersetzten schnell einige Thorium-Wolfram-Elektroden-Anwendungen mit Nicht-Radioaktivität, geringer Betriebsfunktion (ca. 2,7 eV) und ausgezeichneter Lichtbogenstabilität und wurden in die Norm ISO 6848 aufgenommen. In den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts erschienen mit der Weiterentwicklung der Pulvermetallurgietechnologie binäre Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden (z. B. Cer-Lanthan-Kombinationen). Die Beijing Tungsten Molybdänum Material Factory und andere Institutionen haben eine gleichmäßige Verteilung von Seltenerdelementen erreicht und die umfassende Leistung der Elektroden durch Optimierung des Dotierungsprozesses verbessert.

In den 90er Jahren wurde die Entwicklung von ternären Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden (wie Cer-, Lanthan-, Lanthan- und Yttrium-Kombinationen) zu einem heißen Thema. Der technische Hintergrund umfasst die breite Anwendung der Rasterelektronenmikroskopie (REM), der Röntgenbeugung (XRD) und der Transmissionselektronenmikroskopie (TEM), um die mikroskopische Verteilung von Seltenerdoxidpartikeln in Wolframsubstraten aufzudecken. Studien haben beispielsweise gezeigt, dass Seltenerdoxidpartikel eine stabile zweite Phase bilden, die die Vergrößerung von Wolframkörnern bei hohen Temperaturen hemmen und die Lebensdauer der Elektroden verlängern können. Im gleichen Zeitraum förderte das Projekt "Multi-Composite-Seltenerd-Wolframelektrode zur Industrialisierung der Technologie", das durch den chinesischen Plan 863 unterstützt wurde, die Großproduktion, die Wasserstoffreduktion, das kaltisostatische Pressen und das Vakuumsintern umfasste.

Im 21. Jahrhundert haben sich die Anwendungsbereiche von Seltenerd-Komposit-Wolframelektroden vom traditionellen Schweißen auf das Plasmaschneiden, das thermische Spritzen und neue Energiebatterien ausgeweitet. Nach dem Jahr 2000 trieb die weltweite Nachfrage nach umweltfreundlichen Materialien die Popularität radioaktiver Elektroden voran. Der technische Hintergrund umfasst die Einführung der Nanotechnologie, die Verwendung von Seltenerd-Nanopulvern zur Verbesserung der Dotierungsgleichmäßigkeit und die Kontrolle der Partikelgröße im Bereich von 50~100nm. Darüber hinaus verbessern automatisierte Produktionsanlagen (z. B. sprühdotierte Trockner, Mittelfrequenz-Induktionssinteröfen) die Ausbeute und Konsistenz erheblich.

In den 2010er Jahren konzentrierte sich die Forschung auf die Leistungsoptimierung und Fehlerkontrolle. Zum Beispiel zeigte der Sinterschichtungsmechanismus den Einfluss des Temperaturgradienten auf die Verteilung von Seltenen Erden auf und optimierte die Sinterparameter (1450~1800°C, Vakuum $<10^{-3}$ Pa). Internationale Standards wie AWS A5.12/A5.12M regeln die Anforderungen an die Zusammensetzung, Leistungsprüfung und Qualitätskontrolle von Elektroden weiter. Im gleichen Zeitraum wurde die Stabilität der Lieferkette für Seltene Erden zu einem Problem, und der Bericht Global Critical Minerals Outlook unterstrich die strategische Bedeutung

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

von Seltenerdressourcen.

Ab 2025 zeigt der Forschungsstand von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden einen multidisziplinären Trend. Zu den Hotspots gehören:

Neue Anwendungen: In Lithium-Ionen-Batterien, Brennstoffzellen und Photovoltaikanlagen werden Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden als Kathoden oder leitfähige Beschichtungsmaterialien verwendet, um die Energiedichte und die Lebensdauer zu verbessern.

Umweltfreundliche Herstellung: Der Prozess der Gewinnung von Seltenen Erden aus Kohleabfällen reduziert die Abhängigkeit von neuen Mineralien und steht im Einklang mit dem Konzept einer Kreislaufwirtschaft.

Intelligente Produktion: KI-gestützte Prozessoptimierung und 3D-Drucktechnologie werden für die kundenspezifische Elektrodenfertigung eingesetzt, um die Fertigungsgenauigkeit komplexer Strukturen zu verbessern.

Leistungstests: Der Lebensdauertest des Lichtbogens (> 1000 Stunden), das beschleunigte Alterungsexperiment und die Mikrostrukturanalyse (SEM/TEM) liefern zuverlässige Daten für die Leistungsbewertung.

Zu den Herausforderungen gehören die Knappheit von Seltenerdressourcen, hohe Verarbeitungskosten und internationale Handelsbarrieren, aber Chancen liegen in der politischen Unterstützung (z. B. Chinas Vorschriften zum Management von Seltenen Erden) und der wachsenden Marktnachfrage. Laut der globalen Marktprognose hat der jährliche Verbrauch von Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen 1.600 Tonnen überschritten, und es wird erwartet, dass die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate 2025~2030 5,8 % erreichen wird.

1.3 Die Bedeutung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden in der modernen Industrie

Die Bedeutung von Seltenerd-Verbundwerkstoff-Wolframelektroden in der modernen Industrie ergibt sich aus ihrer hervorragenden Leistung, ihren Mehrfeldanwendungen und ihrem Beitrag zur umweltfreundlichen Fertigung. Als umweltfreundliche Alternative zu Thorium-Wolfram-Elektroden eliminiert sie radioaktive Risiken und erfüllt globale Umweltvorschriften (z. B. REACH, RoHS), wodurch die Nachhaltigkeit in der Schweißindustrie gefördert wird.

Im Bereich des Schweißens sind Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden die Kernwerkstoffe des WIG-Schweißens und des Plasmaschweißens. Seine geringe Betriebsfunktion und seine hohe Lichtbogenstabilität (>95 %) gewährleisten qualitativ hochwertige Schweißnähte und werden häufig in der Luft- und Raumfahrt (Titan- und Edelstahlschweißen), im Automobilbau (Leichtbauschweißen von Aluminiumlegierungen) und in der Kernenergie (Schweißen von Reaktorpipelines) eingesetzt. In der Luftfahrt beispielsweise unterstützen Elektroden das fehlerfreie Schweißen komplexer Bauteile und erfüllen dabei strenge Sicherheitsstandards. In der Automobilindustrie hilft es beim Präzisionsschweißen von Batteriekomponenten für Elektrofahrzeuge, um die Produktionseffizienz zu verbessern.

Im Bereich der neuen Energie werden Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden als

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Elektrodenmaterialien oder leitfähige Beschichtungen für Lithium-Ionen-Batterien, Brennstoffzellen und Photovoltaikanlagen eingesetzt. Bei der Herstellung von Lithiumbatterien beispielsweise verbessern die hohe Leitfähigkeit und Korrosionsbeständigkeit die Lebensdauer von Elektroden (>5000 Zyklen). In der Photovoltaikindustrie verbessern Plasmaelektroden für das Schneiden von Siliziumwafern die Schnittgenauigkeit und Haltbarkeit.

In der Elektronikindustrie werden Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen in Kathoden und Filamenten in Halbleiterbauelementen verwendet, um eine stabile Elektronenemission zu gewährleisten und die hochpräzisen Anforderungen der Chipherstellung zu unterstützen. Darüber hinaus werden im Bereich des thermischen Spritzens die hohe Temperaturbeständigkeit (>3000 °C) und Oxidationsbeständigkeit genutzt, um verschleißfeste Beschichtungen zu spritzen und die Lebensdauer mechanischer Komponenten zu verlängern.

Im militärischen und medizinischen Bereich unterstützen Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden hochpräzises Schweißen, wie z. B. die Herstellung von panzerbrechenden Schalen und medizinischen Implantaten. Sein hoher Schmelzpunkt und seine chemische Stabilität sorgen für Zuverlässigkeit unter extremen Bedingungen.

In Bezug auf die wirtschaftlichen Vorteile sparen Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen erheblich Produktionskosten, indem sie die Lebensdauer (500~1000 Stunden) verlängern und die Wartungskosten senken. Beim WIG-Schweißen ist beispielsweise die Brenndauer des Lichtbogens mehr als 2-mal länger als bei reinen Wolframelektroden, wodurch die Häufigkeit des Austauschs verringert wird. Die globale Marktanalyse zeigt, dass die Nachfrage in der High-End-Fertigung das Marktwachstum mit einer durchschnittlichen jährlichen Rate von mehr als 5 % angetrieben hat.

Strategisch gesehen machen die Knappheit von Seltenerdressourcen und die Unersetzlichkeit von Seltenerdmetall-Verbundelektroden sie zu Schlüsselmaterialien und ziehen die Aufmerksamkeit der Politik auf sich. Der Critical Raw Materials Act der EU und die chinesischen Rare Earth Management Regulations betonen die Sicherung der Lieferketten für Seltene Erden und fördern die Forschung und Entwicklung von Recyclingtechnologien und alternativen Verfahren. Bis 2025 wird erwartet, dass die Marktgröße von Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen 1 Milliarde US-Dollar überschreiten wird und zu einer wichtigen Säule für die Hightech-Industrie wird.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)



Kapitel 2 Materialzusammensetzung und Klassifizierung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

2.1 Grundlegende Eigenschaften von Wolfram-basierten Materialien und Grenzen von reinen Wolframelektroden

Wolframbasierte Materialien werden aufgrund ihrer einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften häufig in der Elektrodenherstellung eingesetzt und bilden die Kernmatrix von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden. Wolfram ist ein Refraktärmetall mit einem extrem hohen Schmelzpunkt, einer hervorragenden thermischen und chemischen Stabilität, wodurch es sich ideal für nicht schmelzende Elektroden eignet. Zu seinen wesentlichen Eigenschaften gehören eine hohe Dichte, eine gute Leitfähigkeit und ein sehr niedriger Dampfdruck, wodurch es sich hervorragend für Hochtemperatur- und Hochstromschweißumgebungen eignet.

Wolfram hat einen Schmelzpunkt von 3410 °C, den höchsten aller Metalle, was dafür sorgt, dass die Elektrode bei Lichtbogentemperaturen nicht schmilzt oder sich stark verformt. Wolfram hat eine Dichte von 19,25 g/cm³, was ihm eine hervorragende mechanische Festigkeit und Verschleißfestigkeit verleiht. Darüber hinaus hat Wolfram eine elektrische Leitfähigkeit von etwa 30 % des Kupfers, was niedriger ist als bei herkömmlichen leitfähigen Materialien, aber ausreichend ist, um das Hochstromschweißen zu unterstützen. Seine chemische Stabilität äußert sich in Inertheit gegenüber sauren, alkalischen und oxidierenden Umgebungen bei Raumtemperatur, wodurch es für

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

den Einsatz in anspruchsvollen Industrieumgebungen geeignet ist. Wolfram hat einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten von nur $4,5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, was das Risiko von thermischen Spannungsrissen bei hohen Temperaturen verringert.

Reine Wolframelektroden haben jedoch in der Praxis erhebliche Einschränkungen. Erstens hat reines Wolfram eine hohe Elektronenaustrittsleistung, was zu einer schlechten Lichtbogenleistung führt. Beim WIG-Schweißen benötigen reine Wolframelektroden höhere Spannungen, um Lichtbögen auszulösen, was den Energieverbrauch erhöht und möglicherweise zu einer Instabilität des Lichtbogens führt. Zweitens ist die Lichtbogenstabilität der reinen Wolframelektrode unzureichend, insbesondere beim Hochstrom- oder Wechselstromschweißen ist der Lichtbogen leicht zu driften, was die Qualität der Schweißnaht beeinträchtigt. Zudem kann die Kornvergrößerung von reinen Wolframelektroden bei hohen Temperaturen zu einer Sprödigkeit des Materials führen und dessen Lebensdauer verkürzen. In Umgebungen mit hohen Temperaturen können sich auch Oxide auf der Oberfläche von Wolfram bilden, was zu einer Kontamination der Elektroden und einer verminderten Leistung führt.

Eine weitere Einschränkung von reinen Wolframelektroden ist ihre geringere Elektronenemissionsfähigkeit. Während des Schweißprozesses wirkt sich der Wirkungsgrad der Elektronenemission direkt auf die Stabilität und Energiekonzentration des Lichtbogens aus. Die hohe Arbeitsfunktion von reinen Wolframelektroden erschwert die Aufrechterhaltung eines stabilen Lichtbogens unter niedrigen Strombedingungen, was ihre Anwendung beim Präzisionsschweißen einschränkt. Darüber hinaus sind die Verschleißfestigkeit und die Ausbrandfestigkeit von reinen Wolframelektroden begrenzt, insbesondere beim langfristigen Hochintensivschweißen, bei dem die Elektrodenspitze anfällig für Abtrag ist und häufig ausgetauscht werden muss, was die Produktionskosten erhöht.

Diese Einschränkungen haben Forscher dazu veranlasst, die Optimierung der Leistung von Wolframelektroden durch Dotierungsmodifikationen zu untersuchen. In den Anfängen wurden Thoriumoxide als Dotierstoffe verwendet, um die Elektronenemission zu verbessern, aber ihre Radioaktivitätsprobleme trieben die Entwicklung ungiftiger Seltenerdoxide voran. Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden überwinden die Mängel reiner Wolframelektroden durch die Einführung einer Vielzahl von Seltenerdoxiden und werden so zur Mainstream-Wahl der modernen Schweißtechnologie.

2.2 Arten und Funktionen von Seltenerdoxiden

Seltenerdoxide sind die wichtigsten Additive für Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden, und ihre Art und Wirkung bestimmen direkt den Grad der Leistungsoptimierung der Elektrode. Zu den häufig verwendeten Seltenerdoxiden gehören Lanthanoxid (La_2O_3), Ceroxid (CeO_2), Yttriumoxid (Y_2O_3) und Zirkonoxid (ZrO_2), die die Arbeitsfunktion verringern, die Mikrostruktur verbessern und die Hochtemperaturstabilität erhöhen. Verbessern Sie die Elektrodenleistung erheblich.

Lanthanoxid (La_2O_3) ist bekannt für seine hervorragenden Elektronenemissionsfähigkeiten und seine Lichtbogenstabilität. Durch die Zugabe von Lanthanoxid wird die Elektronenaustrittsarbeit

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

der Wolframmatrix reduziert, so dass die Elektrode bei niedrigerer Spannung einen stabilen Lichtbogen auslösen kann. Dies ist besonders wichtig für das Wechselstrom- und Präzisionsschweißen, da es die Startzeit des Lichtbogens verkürzt und die Schweißnahtkonsistenz verbessert. Lanthanoxid hemmt auch das Wachstum von Wolframkörnern bei hohen Temperaturen, indem es stabile Partikel der zweiten Phase bildet und so den Versprödungswiderstand der Elektroden erhöht. Darüber hinaus hat Lanthanoxid eine niedrige Verdampfungsrate bei hohen Temperaturen, wodurch der Verlust von Elektrodenmaterial reduziert wird.

Ceroxid (CeO_2) ist ein weiteres weit verbreitetes Seltenerdoxid, das für seine geringe Arbeitsfunktion und seinen hohen Elektronenemissionsgrad bekannt ist. Durch die Zugabe von Ceroxid kann die Elektrode sowohl beim Gleichstrom- als auch beim Wechselstromschweißen schnell lichtbogenförmig werden, was sich besonders für das Präzisionsschweißen mit niedrigem Strom eignet. Die Ceroxid-Partikel sind gleichmäßig in der Wolframmatrix verteilt, was die elektrische und thermische Leitfähigkeit der Elektrode verbessert, während gleichzeitig der Temperaturgradient im Lichtbogenkonzentrationsbereich reduziert und der Ausbrennverlust reduziert wird. Darüber hinaus trägt Ceroxid erheblich zur Antifouling-Fähigkeit der Elektrodenoberfläche bei und reduziert so die Interferenz von Verunreinigungen auf den Lichtbogen während des Schweißprozesses.

Yttriumoxid (Y_2O_3) verbessert vor allem die mechanischen Eigenschaften und die Oxidationsbeständigkeit von Elektroden bei hohen Temperaturen. Yttriumoxid ist extrem thermisch stabil und kann die strukturelle Integrität in Hochtemperaturumgebungen mit Lichtbögen aufrechterhalten und den Abtrag an der Elektrodenspitze reduzieren. Durch die Zugabe von Yttriumoxid wird auch die Kornstruktur des Wolframs verfeinert, wodurch die Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit der Elektrode verbessert wird. Damit eignen sich yttriumhaltige Elektroden besonders für das langzeitbeständige Hochstromschweißen, wie z. B. bei der Herstellung von Komponenten für die Luft- und Raumfahrt.

Zirkonoxid (ZrO_2) wird aufgrund seiner hervorragenden Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit in Kompositelektroden verwendet. Zirkonoxid bildet bei hohen Temperaturen eine stabile Schutzschicht, die verhindert, dass die Wolframmatrix mit Sauerstoff oder anderen reaktiven Gasen reagiert, wodurch die Lebensdauer der Elektrode verlängert wird. Zirkonoxid verbessert auch die Temperaturwechselbeständigkeit der Elektrode, wodurch sie für den Einsatz in komplexen Umgebungen wie dem Plasmaschneiden geeignet ist. Zusätzlich optimiert die Zugabe von Zirkonoxid die Lichtbogenstabilität, insbesondere beim Hochfrequenzschweißen.

Andere Seltenerdoxide wie Neodymoxid (Nd_2O_3) und Samariumoxid (Sm_2O_3) werden ebenfalls in spezifischen Anwendungen untersucht. Diese Oxide sorgen für eine zusätzliche Leistungsoptimierung, indem sie die Mikrostruktur und die Elektronenemissionseigenschaften der Elektrode anpassen. Zum Beispiel reduziert Neodymoxid die Arbeitsfunktion weiter, während Samariumoxid die Beständigkeit der Elektrode gegen Hochtemperaturoxidation erhöht.

Der Wirkmechanismus von Seltenerdoxiden liegt in ihrer Wechselwirkung mit der Wolframmatrix.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Bei hohen Temperaturen wandern Seltenerdoxidpartikel zur Elektrodenoberfläche, bilden einen Emissionspunkt mit geringer Arbeitsfunktion und fördern den Elektronenausstritt. Gleichzeitig hemmen diese Partikel das Gleiten der Korngrenze durch den Pinning-Effekt, wodurch die Hochtemperaturfestigkeit des Materials erhöht wird. So sorgt beispielsweise die Kombination aus Ceroxid und Lanthanoxid für ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Lichtbogenleistung und Lebensdauer, während die Kombination aus Yttriumoxid und Zirkonoxid die Hochtemperaturstabilität und Korrosionsbeständigkeit optimiert.

2.3 Klassifizierungsnormen für Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Die Klassifizierung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden basiert auf der Art, Menge und Anwendungseigenschaften von Seltenerdoxid und zielt darauf ab, unterschiedliche Schweißanforderungen und Industriestandards zu erfüllen. Die Klassifizierungsstandards umfassen im Wesentlichen folgende Aspekte:

Entsprechend der Art des Seltenerdoxids: Entsprechend der Art des zugesetzten Seltenerdoxids kann die Elektrode in eine einzelne Seltenerdelektrode (z. B. Cer-Wolfram, Lanthan-Wolfram) und eine Verbund-Seltenerdelektrode unterteilt werden. Komposit-Seltenerdelektroden werden weiter unterteilt in binäre Komposite (z. B. Cer-Lanthan-Wolfram-Elektroden), ternäre Komposite (z. B. Cer-Lanthan-Yttrium-Wolfram-Elektroden) und Multikomposite (mit mehr als drei Seltenerdoxid). Die Leistung einer einzelnen Seltenerdelektrode ist relativ einfach, während die Kompositelektrode durch die Synergie von Seltenerdelementen eine umfassendere Leistungsoptimierung erreicht.

Nach Seltenerdgehalt: Der Gesamtgehalt an Seltenerdoxid liegt in der Regel zwischen 1% ~ 4% und wird je nach Gehalt in Elektroden mit niedrigen Seltenen Erden (1% ~ 2%), mittleren Seltenen Erden (2% ~ 3%) und hohen Seltenen Erden (3% ~ 4%) unterteilt. Elektroden mit niedrigen Seltenerdgehalten eignen sich für das Präzisionsschweißen mit niedrigen Strömen, während Elektroden mit hohen Seltenerdmetallen für Hochleistungsschweißen mit hohem Strom verwendet werden.

Nach Anwendung: Je nach Hauptanwendung können Elektroden in Schweißen (z. B. WIG-Schweißen, Plasmaschweißen), Schneiden (Plasmaschneiden), Sprühen (thermisches Spritzen) und elektrische Lichtquelle (Glühfaden, Kathode) unterteilt werden. So betont beispielsweise die Elektrode zum Schweißen die Lichtbogenstabilität und die Elektrode zum Schneiden den Fokus auf eine hohe Temperaturbeständigkeit.

Nach internationalen Standards: Gemäß den Normen ISO 6848:2015 und AWS A5.12 werden Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen nach Seltenerdtyp und Leistung eingestuft. Modelle wie WL20 (mit 2 % Lanthanoxid) und WC20 (mit 2 % Ceroxid) spezifizieren beispielsweise die Art und den Gehalt von Seltenen Erden, während Kompositelektroden durch benutzerdefinierte Zahlen wie WLaCeY (ternäres Komposit) dargestellt werden können.

Je nach Verarbeitungsprozess: Je nach Zubereitungsmethode kann es in mechanische

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Mischelektroden und chemisch dotierte Elektroden unterteilt werden. Die Kosten für die Elektrode des mechanischen Hybridverfahrens sind gering, aber die Gleichmäßigkeit ist etwas schlechter. Chemisch dotierte Elektroden bieten eine höhere Gleichmäßigkeit der Seltenerdverteilung und eignen sich für Hochleistungsanwendungen.

Die Klassifizierungskriterien wurden unter Berücksichtigung des Gleichgewichts zwischen Leistungsoptimierung und Produktionskosten entwickelt. Binäre Kompositelektroden bieten beispielsweise ein gutes Gleichgewicht zwischen Leistung und Kosten und werden häufig beim industriellen Schweißen eingesetzt. Ternäre oder Multikomposit-Elektroden sind für hochpräzise, anspruchsvolle Umgebungen wie die Luft- und Raumfahrt und die Kernenergie konzipiert.

2.4 Gängige Modelle und Spezifikationen von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Die Modelle und Spezifikationen von Seltenerd-Verbundwerkstoff-Wolframelektroden sind gemäß internationalen Standards und Marktanforderungen formuliert, und zu den gängigen Modellen gehören die Serien WL, WC, WY und kundenspezifische Verbundmodelle. Im Folgenden sind die wichtigsten Modelle und ihre Spezifikationen aufgeführt:

WL-Serie (Lanthan-Wolfram-Elektrode): enthält Lanthanoxid, normalerweise ausgedrückt als WL10 (1 % La_2O_3), WL15 (1,5 % La_2O_3), WL20 (2 % La_2O_3). Es eignet sich zum WIG-Schweißen und Plasmaschweißen mit hervorragender Lichtbogeneinleitungsleistung und Lichtbogenstabilität, mit einem Durchmesserbereich von 1,0 ~ 10,0 mm und einer Länge von 150 ~ 175 mm.

WC-Serie (Cer-Wolfram-Elektrode): Enthält Ceroxid, das gängige Modell ist WC20 (2% CeO_2). Es eignet sich für das Niedrigstrom-Präzisionsschweißen und das Wechselstromschweißen mit einem Durchmesser von 1,0 ~ 6,4 mm und einer Länge von 150 mm, und die Oberfläche wird normalerweise poliert, um Verunreinigungen zu reduzieren.

WY-Serie (Yttrium-Wolfram-Elektrode): Enthält Yttriumoxid, Modell wie WY20 (2% Y_2O_3), hauptsächlich zum Hochstrom-Gleichstromschweißen verwendet, ausgezeichnete Hochtemperaturbeständigkeit, Durchmesser 2,0 ~ 8,0 mm, Länge 150 ~ 175 mm.

Kompositmodelle: wie WLaCe (mit Lanthanoxid und Ceroxid), WLaCeY (mit Lanthanoxid, Ceroxid und Yttriumoxid). Bei diesen Modellen handelt es sich um kundenspezifische Produkte, der Gehalt an Seltenen Erden wird entsprechend den Anwendungsanforderungen angepasst, in der Regel zwischen 1,5% ~ 3,5%, und der Durchmesser und die Länge können nach Kundenwunsch angepasst werden.

Spezifikationen: Die Elektrodendurchmesser reichen von 0,5 mm (Mikroschweißen) bis 12,0 mm (Schweißen in der Schwerindustrie), und die Längen umfassen 150 mm, 175 mm und kundenspezifische Längen. Die Oberflächenbehandlung umfasst Polieren, Oxidation und Beschichtung, und die Endform kann spitz, flach oder kugelförmig sein, um den Anforderungen verschiedener Schweißprozesse gerecht zu werden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Die Wahl des Modells hängt von der Art der Schweißung, dem Strombereich und den Materialeigenschaften ab. WL20 eignet sich beispielsweise für das AC-Schweißen von Aluminiumlegierungen, WC20 für das Niedrigstromschweißen von Edelstahl und WLaCeY für das Hochlastschweißen von hochfestem Stahl. Die Vielfalt der Spezifikationen gewährleistet die breite Anwendbarkeit der Elektrode in der Luft- und Raumfahrt, im Automobilbau, in der Kernenergie und mehr.

2.5 Analyse des Einflusses der Materialzusammensetzung aus Seltenerd-Wolframelektroden auf die Leistung

Die Leistung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden wird durch die Materialzusammensetzung beeinflusst, einschließlich der Art, des Inhalts, der Gleichmäßigkeit der Verteilung von Seltenerdoxiden und ihrer Wechselwirkung mit der Wolframmatrix. Im Folgenden wird die Wirkung aus mehreren Perspektiven analysiert:

Arten von Seltenerdoxiden: Verschiedene Seltenerdoxide tragen unterschiedlich zur Elektrodenleistung bei. Lanthanoxid verringert vor allem die Arbeitsfunktion und verbessert die Lichtbogenstabilität. Ceroxid verbessert die Lichtbogeninitiierung und die Fähigkeit zur Bekämpfung von Umweltverschmutzung; Yttriumoxid verbessert die Hochtemperaturfestigkeit und die Brennbeständigkeit; Zirkonoxid verbessert die antioxidativen Eigenschaften. Binäre oder ternäre Komposite optimieren die kombinierte Leistung durch synergistische Wirkung, wie z. B. WLaCe-Elektroden, die niedrige Betriebsfunktionen und langlebige Eigenschaften kombinieren.

Gehalt an Seltenen Erden: Ein erhöhter Gehalt an Seltenerdoxiden verringert in der Regel die Arbeitsfunktion und verbessert die Effizienz der Elektronenemission, aber ein zu hoher Gehalt (>4%) kann zu einer Abnahme der Matrixfestigkeit und Sinterdefekten führen. Der niedrige Gehalt von 1% ~ 2% eignet sich für das Präzisionsschweißen, 2% ~ 3% ist der allgemeine Bereich und 3% ~ 4% wird für das Schweißen mit hoher Belastung verwendet. Die Optimierung von Inhalten erfordert ein Gleichgewicht zwischen Leistung und Kosten.

Gleichmäßige Verteilung: Die gleichmäßige Verteilung von Seltenerdoxiden ist entscheidend für die Leistung. Durch das chemische Dotierungsverfahren kann eine nanoskalige Partikelverteilung (< 100 nm) erreicht und die Leitfähigkeit und Stabilität der Elektrode verbessert werden. Mechanisches Mischen kann zu einer Partikelagglomeration führen, die die Leistungskonsistenz verringert. Die REM-Analyse zeigte, dass die gleichmäßig verteilten Seltenerdpartikel die Korngrenzen effektiv festnageln und die Widerstandsfähigkeit gegen Hochtemperaturkriechen verbessern können.

Mikrostruktur: Die Zugabe von Seltenerdoxiden verfeinert die Wolframkörner, und die durchschnittliche Korngröße wird von 20 ~ 50 µm auf 5 ~ 10 µm reines Wolfram reduziert, was die Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit verbessert. Seltenerdpartikel bilden auch eine stabile zweite Phase, die das Verrutschen der Korngrenzen bei hohen Temperaturen reduziert und die Lebensdauer der Elektroden verlängert.

Synergistischer Effekt: Multikomposit-Elektroden optimieren die Leistung durch die synergistische Wirkung von Seltenerdelementen. So reduziert die Kombination von Ceroxid und Lanthanoxid die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Lichtbogenspannung und verlängert die Lebensdauer; Die Kombination aus Yttriumoxid und Zirkonoxid erhöht die Hochtemperaturstabilität und Korrosionsbeständigkeit. Diese Synergie zeichnet die Kompositelektrode unter komplexen Betriebsbedingungen aus.

Anpassungsfähigkeit an die Umwelt: Die chemische Stabilität von Seltenerdoxiden erhöht die Beständigkeit der Elektrode gegen Verunreinigungen und reduziert die Auswirkungen von Oxiden oder Verunreinigungen beim Schweißen. Zirkonoxidhaltige Elektroden weisen eine höhere Haltbarkeit in Umgebungen mit hoher Luftfeuchtigkeit oder korrosiven Gasen auf.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Gestaltung der Materialzusammensetzung entsprechend den Anwendungsanforderungen optimiert werden muss. In der Luft- und Raumfahrt werden ternäre Kompositelektroden bevorzugt, um eine Leistung bei hohen Temperaturen zu gewährleisten, während die Elektronikindustrie für das Präzisionsschweißen auf Cer-Wolfram-Elektroden mit niedrigem Seltenerdgehalt setzt.

2.6 Vergleich von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden mit herkömmlichen Thoriumwolframelektroden

Es gibt signifikante Unterschiede zwischen Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden und herkömmlichen Thoriumwolframelektroden in Bezug auf Leistung, Umweltfreundlichkeit und Anwendungsbereich. Im Folgenden finden Sie einen Vergleich unter mehreren Aspekten:

Elektronenemissionsleistung: [Die Thorium-Wolframelektrode](#) (mit 1% ~ 2% ThO₂) bietet durch die geringe Arbeitsfunktion von Thorium eine gute Lichtbogeninitiierungsleistung, aber die Verbund-Seltenerd-Wolframelektrode reduziert die Arbeitsfunktion durch den synergistischen Effekt mehrerer Seltenerdoxide mit niedrigerer Lichtbogenspannung und höherer Lichtbogenstabilität weiter. So ist beispielsweise die Lichtbogenstartzeit der WLaCeY-Elektrode beim Wechselstromschweißen etwa 20 % kürzer als die der Thoriumwolframelektrode.

Lichtbogenstabilität: Die Lichtbogenstabilität von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden ist besser als die von Thoriumwolframelektroden, insbesondere unter hohen Strom- und Wechselstrombedingungen. Die gleichmäßige Verteilung der Seltenerdoxide reduziert die Lichtbogendrift und sichert die Schweißqualität. Die Thorium-Wolfram-Elektrode kann aufgrund der Thoriumverflüchtigung während des Langzeitschweißens zu einer Instabilität des Lichtbogens führen.

Lebensdauer: Die Lebensdauer von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden ist deutlich länger als die von Thorium-Wolfram-Elektroden. Die niedrige Verdampfungsrate und die Ausbrandbeständigkeit von Seltenerdoxiden ermöglichen es, dass die Elektrode 500 ~ 1000 Stunden lang ununterbrochen beim Schweißen mit hoher Last verwendet werden kann, während Thoriumwolframelektroden normalerweise 300 ~ 500 Stunden dauern. Die verlängerte Lebensdauer reduziert die Häufigkeit von Austauschen und die Produktionskosten.

Umweltschutz und Sicherheit: Thorium-Wolfram-Elektroden enthalten radioaktives Thorium, das

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

während der Verarbeitung und Verwendung α Partikel freisetzen kann, die ein Risiko für die Gesundheit der Bediener darstellen, und die Abfallentsorgung muss strengen Strahlenschutzstandards entsprechen. Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden sind nicht radioaktiv und entsprechen den REACH- und RoHS-Vorschriften, wodurch Umweltverschmutzung und Gesundheitsrisiken reduziert werden, was sie zur ersten Wahl für eine umweltfreundliche Produktion macht.

Hochtemperaturleistung: Seltenerd-Seltenerd-Verbundwerkstoffelektroden weisen eine bessere Hochtemperaturstabilität und Ausbrennfestigkeit durch Kornfeinung und Oxidationsbeständigkeit von Seltenerdoxid auf. Thorium-Wolfram-Elektroden neigen bei hohen Temperaturen zur Thoriumverflüchtigung, was zu einem erhöhten Verlust der Elektrodenspitze führt.

Anwendungen: Durch die vielfältigen Modelle von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden wie WL, WC und WLaCeY eignen sie sich für eine breitere Palette von Schweißarten und -materialien, einschließlich Aluminiumlegierungen, rostfreien Stählen und Superlegierungen. Obwohl die Thoriumwolframelektrode für eine Vielzahl von Schweißarbeiten geeignet ist, hat sich ihr Einsatzbereich aufgrund von Umwelteinflüssen allmählich verringert.

Kosten und Verfügbarkeit: Die Rohstoffkosten für Thoriumwolframelektroden sind niedriger, aber die Verarbeitungs- und Entsorgungskosten sind höher. Die Seltenerdresourcen von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden sind teuer, aber die Produktionskosten werden durch die Optimierung des Prozesses (z. B. chemische Dotierung) gesenkt, und die Weiterentwicklung der Seltenerdrückgewinnungstechnologie verbessert die Ressourcenverfügbarkeit.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden in Bezug auf Leistung, Umweltschutz und Anwendungsflexibilität umfassend besser sind als Thoriumwolframelektroden und die bevorzugten Materialien für die moderne Schweißtechnik sind. Seine nicht-radioaktiven Eigenschaften und seine lange Lebensdauer haben seine breite Anwendung auf dem Weltmarkt gefördert, insbesondere in Europa und den Vereinigten Staaten, wo strenge Umweltschutzanforderungen gelten.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung



Kapitel 3 Vorbereitungs- und Produktionsprozess und -technologie von Seltenerdmetall-Komposit-Wolframelektroden

3.1 Rohstoffaufbereitung und -verhältnis

Die Vorbereitung und das Verhältnis des Rohmaterials sind die grundlegenden Glieder der Vorbereitung der Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen, die die Stabilität und Konsistenz der Materialeigenschaften direkt bestimmen. Zu den Hauptrohstoffen von Seltenerd-Verbundelektroden gehören hochreine Materialien auf Wolframbasis und Seltenerdoxid-Additive, und das Verhältnisdesign muss genau gesteuert werden, um die Elektronenemissionskapazität, die Lichtbogenstabilität und die Haltbarkeit bei hohen Temperaturen der Elektrode zu optimieren.

Wolframbasierte Rohstoffe: Wolframbasierte Materialien werden in der Regel aus [Wolframtrioxid](#) (WO_3) oder [Ammoniumparawolframat](#) (APT, $(NH_4)_2WO_4$) als Ausgangsbestandteil hergestellt. Die Reinheit von Wolframtrioxid muss mehr als 99,95 % erreichen, um die Auswirkungen von Verunreinigungen (wie Eisen, Silizium, Kohlenstoff) auf die Elektrodenleistung zu reduzieren. Ammoniumparawolframat wird aufgrund seiner Löslichkeit in Wasser und seiner einfachen Dotierung häufig in chemischen Dotierprozessen verwendet, wodurch zusätzliche Kalzinierungsschritte entfallen und Produktionszyklen verkürzt werden. Die Partikelgröße von Wolframrohstoffen wird im Allgemeinen von 1 bis 5 Mikrometern kontrolliert, um die Gleichmäßigkeit während der nachfolgenden Reduktions- und Sinterprozesse zu gewährleisten. Die

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Rohstoffe werden streng gesiebt, um Oxideinschlüsse oder metallische Verunreinigungen zu entfernen, und in der Regel durch Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA) auf ihre Reinheit bestätigt.

Seltenerdoxid-Additive: Seltenerdoxide werden in Form von Nitraten eingeführt, zu denen häufig Lanthannitrat ($\text{La}(\text{NO}_3)_3$), Cernitrat ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$) und Yttriumnitrat ($\text{Y}(\text{NO}_3)_3$) gehören.) und Zirkoniumnitrat ($\text{Zr}(\text{NO}_3)_4$). Diese Nitratre müssen als Lösung in einer Konzentration von 0,1 bis 0,5 mol/l formuliert werden, mit einem Lösungsmittel aus deionisiertem Wasser und einem pH-Wert, der auf 5,5 bis 6,5 eingestellt ist, um Ausfällungen oder chemische Reaktionen zu verhindern. Die Reinheit von Seltenerdelementen muss nicht weniger als 99,9 % betragen, um zu vermeiden, dass nichtmetallische Verunreinigungen wie Schwefel und Phosphor die Leitfähigkeit und Stabilität der Elektrode beeinträchtigen. Der Gesamtgehalt an Seltenerdoxid beträgt in der Regel 1 % bis 4 % (Massenanteil), und das spezifische Verhältnis wird entsprechend den Anwendungsanforderungen optimiert. Zum Beispiel kann eine binäre Kompositelektrode 1:1 Ceroxid und Lanthanoxid verwenden, und eine ternäre Kompositelektrode kann Ceroxid sein: Lanthanoxid: Yttriumoxid = 1:1:3, um die Lichtbogenleistung und die hohe Temperaturstabilität auszugleichen.

Proportionales Design: Das Verhältnisdesign sollte die Elektronenaustrittsarbeit, die Lichtbogenstabilität und die mechanischen Eigenschaften umfassend berücksichtigen. Der niedrige Gehalt an Seltenen Erden (1 % bis 2 %) eignet sich für das Präzisionsschweißen und betont die Lichtbogeninitiierungsleistung. Der hohe Gehalt an Seltenen Erden (3 % bis 4 %) eignet sich für Hochleistungsschweißen mit hohen Strömen und erhöht die Langlebigkeit und Beständigkeit gegen Durchbrennen. Experimente zeigen, dass der synergistische Effekt von Lanthanoxid und Ceroxid die Elektronenaustrittsarbeit auf 2,0 bis 2,5 eV reduzieren und die Lichtbogenstabilität auf mehr als 95 % verbessern kann. Im Prozess des Verhältnisses sind Computersimulationen und experimentelle Verifizierungen des optimierten Verhältnisses erforderlich, und zu den gängigen Methoden gehören das orthogonale Versuchsdesign und die Analyse der Reaktionsoberfläche, um die optimale Kombination von Seltenen Erden zu bestimmen.

Mischen von Rohstoffen: Beim Mischprozess werden Sprühdotierungs- oder Imprägnierverfahren angewendet. Die Seltenerd-nitratlösung wird gleichmäßig in das Wolframtrioxidpulver gesprüht, die Sprühgeschwindigkeit wird auf 0,5 bis 1 l/min geregelt, die Trocknungstemperatur beträgt 80 bis 120 °C und der Sprühtrockner wird verwendet, um ein gleichmäßig dotiertes Pulver zu bilden. Bei der Imprägniermethode wird Wolframpulver in einer Seltenerd-lösung mit einer Rührgeschwindigkeit von 200 bis 300 U/min eingeweicht, um eine gleichmäßige Adsorption zu gewährleisten. Nach dem Mischen sollte das Pulver unter Vakuum oder inerte Atmosphäre getrocknet werden, um Oxidation zu vermeiden. Nach dem Trocknen muss das Pulver durch ein 200-Mesh-Sieb gesiebt werden, um agglomerierte Partikel zu entfernen.

Qualitätskontrolle: Bei der Vorbereitung von Rohstoffen müssen der Feuchtigkeitsgehalt (<0,5 %) und der Gehalt an Verunreinigungen (<0,01 %) streng kontrolliert werden. Die Lagerumgebung sollte trocken und belüftet sein und die Temperatur sollte zwischen 10 und 25 °C geregelt werden, um eine Verschlechterung durch Feuchtigkeit oder Verschmutzung zu vermeiden. Der Ratio-

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Datensatz muss digital archiviert und mit dem Online-Überwachungssystem zusammengearbeitet werden, um die Konsistenz zwischen den Chargen zu gewährleisten.

3.2 Detaillierte Erläuterung des pulvermetallurgischen Prozesses

Das pulvermetallurgische Verfahren ist die Kerntechnologie für die Herstellung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden, mit der die Verdichtung und Leistungsoptimierung von Materialien durch Pulvervorbereitung, Formen, Sintern und Nachbearbeitung erreicht wird. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass es die Verteilung und Mikrostruktur von Seltenerdoxiden präzise steuern kann und sich für die industrielle Produktion von Hochleistungselektroden eignet.

Pulveraufbereitung: Bei der Pulveraufbereitung werden dotiert und mechanisch legiert. Dotierung Das Seltenerdinitrat wird durch Sprühtrocknung oder Nassmischverfahren in das Wolframpulver eingebracht und bildet nach dem Trocknen ein gleichmäßig dotiertes Pulver. Die mechanische Legierung erfolgt über eine Hochenergie-Planetenmühle, und die Parameter der Kugelmühle betragen: 400 bis 600 U / min, das Kugelverhältnis beträgt 8:1 bis 10:1 und die Schleifzeit beträgt 8 bis 12 Stunden. Das Kugelmühlenmedium besteht aus Hartmetallkugeln, um Metallverschmutzung zu vermeiden. Durch mechanisches Legieren werden Pulverpartikel auf 0,1 bis 1 Mikrometer verfeinert, wodurch Kristalldefekte eingeführt und die nachfolgende Sinteraktivität verbessert wird.

Pulvercharakterisierung: Das vorbereitete Pulver muss mit einem Laser-Partikelgrößenanalysator detektiert werden, um sicherzustellen, dass die D50 (mittlere Partikelgröße) im Bereich von 1 bis 5 Mikrometern liegt. Die spezifische Oberfläche wird mit der BET-Methode bestimmt, typischerweise 2 bis 5 m²/g, um die Sinteraktivität zu gewährleisten. Die Röntgenbeugungsanalyse (XRD) bestätigte die Kristallform und -verteilung von Seltenerdoxiden, und die Rasterelektronenmikroskopie (REM) beobachtete die Morphologie und Gleichmäßigkeit der Partikel.

Umformen: Beim Formen wird das Pulver in einen Rohling gepresst, und zu den gängigen Methoden gehören das kaltisostatische Pressen und Formen. Beim kaltisostatischen Pressen wird ein flüssiges Medium verwendet, um einen gleichmäßigen Druck von 100 bis 300 MPa auszuüben, die Formzeit beträgt 5 bis 10 Minuten und die Dichte des Körpers erreicht 60 % bis 70 % der theoretischen Dichte. Beim Formen wird eine starre Form verwendet, die durch eine hydraulische Presse einen Druck von 150 bis 200 MPa ausübt, wodurch sie für die Produktion in kleinen Serien geeignet ist. Als Bindemittel werden 0,5 % bis 1 % Polyvinylalkohol (PVA) zugesetzt, um die Formbarkeit zu verbessern, der beim Vorsintern entfernt werden muss. Die Spritzgießanlage muss mit Drucksensoren ausgestattet sein, um eine gleichmäßige Druckverteilung zu gewährleisten.

Sintern: Beim Sintern werden Pulverpartikelbindungen und Materialverdichtungen realisiert, und das Vakuum-Heißpresssintern und das Funkenplasmasintern (SPS) werden häufig verwendet. Das Vakuum-Warmpresssintern wird bei Drücken von 1600 bis 1800 °C und 50 bis 80 MPa durchgeführt, mit segmentierter Steuerung der Heizraten (10 °C/min bis 1000 °C, 4 °C/min bis zur Zieltemperatur), einer Haltezeit von 60 bis 90 Minuten und einem Vakuum von 10⁻³ Pa. SPS verwendet gepulsten

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Strom zur schnellen Erwärmung (100 bis 200 °C/min). Sintern bei 1400 bis 1600 °C und 5 bis 10 Minuten warmhalten, geeignet für Nanopulver und reduziert die Verdunstung von Seltenen Erden. Die Materialdichte nach dem Sintern liegt nahe am theoretischen Wert (>99%) und die Korngröße wird von 5 bis 10 Mikrometern gesteuert.

Nachbearbeitung: Die Nachbearbeitung umfasst das Rotations Schmieden, Ziehen und die Oberflächenveredelung. Beim Rundumschmieden werden gesinterte Rohlinge bis zu einem Durchmesser von 3 bis 10 mm mit einer Verformungsrate von 20 % bis 30 % pro Durchgang bearbeitet. Der Durchmesser wurde weiter auf 0,5 bis 10 mm reduziert, indem mit Graphitemulsion geschmiert wurde. Die Oberflächenveredelung erfolgt durch mechanisches oder elektrochemisches Polieren, um Oberflächenfehler zu entfernen und das Finish zu verbessern.

Prozessvorteile und Herausforderungen: Das pulvermetallurgische Verfahren ermöglicht die Diffusionsverteilung von Seltenerdoxiden, wodurch die Elektronenemission und die Ausbrennfestigkeit der Elektrode verbessert werden. Zu den Herausforderungen gehören die Kontrolle der Pulvergleichmäßigkeit und die Vermeidung von Sinterfehlern (z. B. Porosität), die durch Prozessoptimierung und Inline-Überwachung angegangen werden müssen. In Zukunft wird die Kombination von Nanotechnologie und Automatisierung die Effizienz und Qualität weiter verbessern.

3.3 Prozess der Reduzierung

Der Reduktionsprozess wandelt Wolframtrioxid oder Ammoniumparawolframat in hochreines Wolframpulver um und fixiert gleichzeitig die Seltenerdoxidverteilung, was ein wichtiger Schritt bei der Herstellung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden ist. Die Wasserstoffreduktion ist aufgrund ihrer hohen Effizienz und Sauberkeit weit verbreitet und wird in zwei Reduktionsstufen unterteilt, um die Pulverqualität zu optimieren.

Die erste Stufe der Reduktion: Bei 500 bis 600 °C wird das dotierte Wolframtrioxid-Pulver in eine Wasserstoffatmosphäre mit einer Wasserstoffreinheit von mehr als 99,99 % und einem Durchfluss von 0,5 bis 1 m³/h gebracht. Der Reduktionsofen verwendet einen Rohofen oder einen Glockenofen, und die Temperaturabweichung wird auf ±5 °C geregelt. Die Reduktionszeit wird entsprechend der Pulvermenge angepasst, in der Regel 4 bis 6 Stunden, um die Zwischenphase WO₂ zu erzeugen, während das Seltenerdinitrat in Oxide zerlegt und zunächst in der Wolframmatrix fixiert wird. Der Sauerstoffgehalt sinkt unter 1 %.

Die zweite Stufe der Reduzierung: Die Temperatur steigt auf 800 bis 950 °C, wodurch der Restsauerstoff weiter entfernt wird und reines Wolframpulver entsteht. Der Wasserstoffdurchfluss wird auf 1 bis 1,5 m³/h erhöht, um eine angemessene Reduzierung zu gewährleisten. Die Reduktionszeit beträgt 6 bis 8 Stunden, die Pulverpartikelgröße wird auf 1 bis 5 Mikrometer gesteuert und der Sauerstoffgehalt auf weniger als 0,01 % reduziert. Die Innenwand des Reduktionsofens sollte aus hochtemperaturbeständigem Edelstahl oder einer Molybdänlegierung bestehen, um Verschmutzungen zu vermeiden. Das reduzierte Pulver wurde mittels REM und XRD analysiert, um die Partikelmorphologie und die Verteilung der Seltenen Erden zu bestätigen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Optimierungstechnologie: Durch die Reduzierung des Temperaturgradienten (segmentierte Erwärmung) und die Reduzierung von nassem Wasserstoff (Wasserstoff enthält Spuren von Wasserdampf) können Partikel raffiniert und die Oberflächenaktivität verbessert werden. Die Nasswasserstoffreduktion fördert ein gleichmäßiges Kornwachstum von Wolframpulver, indem sie den Wasserdampfgehalt (0,1 % bis 0,5 %) steuert. Durch die Zugabe von Spurenzusätzen wie Lithiumcarbonat kann die Reduktionstemperatur gesenkt und der Energieverbrauch eingespart werden.

Sicherheit und Umweltschutz: Die Wasserstoffreduzierung muss mit Lecksuch- und Belüftungssystemen ausgestattet sein, und das Abgas wird durch eine Abgasabsorptionsvorrichtung behandelt, um nicht umgesetzten Wasserstoff zurückzugewinnen. Die Technologie zur grünen Reduzierung erforscht energiesparende Elektroheizöfen, um die Kohlenstoffemissionen zu reduzieren. Die Optimierung des Reduktionsprozesses stellt sicher, dass das Pulver von hoher Qualität ist und legt damit den Grundstein für die anschließende Formgebung und das Sintern.

3.4 Umformung und Umformprozess

Durch den Umform- und Umformprozess wird das dotierte Wolframpulver in einen Rohling gepresst, um eine gleichmäßige und dichte Ausgangsstruktur für das Sintern zu erhalten. Die Formqualität wirkt sich direkt auf die endgültige Leistung der Elektrode aus, und zu den gängigen Verfahren gehören kaltisostatisches Pressen, Formen und Hydroforming.

Kaltisostatisches Pressen: Es wird ein gleichmäßiger Druck (100 bis 300 MPa) durch ein flüssiges Medium ausgeübt und das Pulver wird mit einer Formzeit von 5 bis 10 Minuten in eine flexible Gummiform geladen. Die Dichte des Körpers erreicht 60 % bis 70 % der theoretischen Dichte, wodurch er für große Elektroden (z. B. > 10 mm Durchmesser) geeignet ist. Das Gerät muss mit einer Hochdruckpumpe und einem Drucksensor ausgestattet sein, um einen stabilen Druck zu gewährleisten.

Formen: Starre Stahlformen werden verwendet, um einen Druck von 150 bis 200 MPa durch hydraulische Pressen auszuüben, die für die Kleinserienproduktion geeignet sind. Fügen Sie 0,5 % bis 1 % Polyvinylalkohol oder Paraffin als Bindemittel hinzu, um die Fließfähigkeit des Pulvers zu verbessern. Nach dem Formen muss der Körper bei 400 bis 600 °C vorgesintert werden, um das Bindemittel zu entfernen und zunächst dicht zu werden.

Hydroforming: Wird für Elektroden mit komplexer Form, Mischen von Pulver mit Bindemittel zu einer Aufschlammung und Spritzgussform zum Aushärten verwendet. Die Feuchtigkeit der Gölle wird auf 20 % bis 30 % geregelt und nach dem Formen 24 Stunden lang bei Raumtemperatur getrocknet, um thermische Spannungsrisse zu vermeiden. Nach der Entformung sollte die Maßhaltigkeit des Körpers überprüft werden, und die Abweichung < 0,1 mm.

Prozessoptimierung: Optimieren Sie die Druckverteilung durch Finite-Elemente-Simulation, um Dichtegradienten zu reduzieren. Die Zugabe von nanoskaligen Seltenerdoxidpartikeln kann die Stärke des Körpers verbessern. Die Fehleranalyse zeigte, dass ungleichmäßiger Druck Porosität

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

oder Risse verursachte, die durch mehrstufige Profile und Druckkorrektur behoben werden mussten. Automatisierte Spritzgießanlagen integrieren optische Inspektionssysteme, um die Konsistenz zu verbessern.

Qualitätskontrolle: Der geformte Körper muss durch Ultraschallprüfung auf interne Mängel überprüft werden. Bei der Dichtepfung wird die Archimedes-Methode verwendet, um die Gleichmäßigkeit zu gewährleisten. Digitale Aufzeichnungen des Formprozesses erleichtern die Rückverfolgbarkeit und Optimierung.

3.5 Sinterprozess

Der Sinterprozess verdichtet den geformten Körper durch Hochtemperaturbehandlung und bildet ein Elektrodenmaterial mit hoher Dichte und hoher Festigkeit. Das Sintern von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden erfordert ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen Seltenerdoxid und Korngrößenkontrolle, und zu den gängigen Methoden gehören das Vakuum-Heißpresssintern, das Funkenplasmasintern (SPS) und das vertikale Schmelzsintern.

Vakuum-Heißpresssintern: Durchgeführt bei 1600 bis 1800 °C, 50 bis 80 MPa Druck, Vakuumgrad 10^{-3} Pa, segmentierte Heizratenregelung: 10 °C/min bis 1000 °C, 4 °C/min bis zur Zieltemperatur, 60 bis 90 Minuten warm gehalten. Der Sinterofen verfügt über einen Heizkörper aus Graphit und ist mit einem Infrarot-Thermometer ausgestattet, um eine gleichmäßige Temperatur zu gewährleisten. Nach dem Sintern erreicht die Materialdichte mehr als 99 %, die Korngröße beträgt 5 bis 10 Mikrometer, und die Seltenerdoxide bilden eine zweite Diffusionsphase, um die Festigkeit bei hohen Temperaturen zu erhöhen.

Spark Plasma Sintering (SPS): Schnelles Erhitzen (100 bis 200 °C/min) mit gepulstem Strom, Sintern bei 1400 bis 1600 °C, 30 bis 50 MPa und Halten für 5 bis 10 Minuten. SPS eignet sich für Nanopulver, reduziert die Verdunstungsverluste von Seltenen Erden und kontrolliert die Korngröße von 3 bis 8 Mikrometern. Das Gerät sollte mit einem hochpräzisen Stromkontrollsystem ausgestattet sein, um ein Überbrennen zu vermeiden.

Vertikales Schmelzsintern: mit 90% Schmelzstrom, gesintert in einem teilweise geschmolzenen Zustand aus Wolframmatrix, geeignet für Elektroden mit großem Durchmesser. Die Temperatur wird über 3000 °C geregelt und die Atmosphäre besteht aus Argon oder Wasserstoff, um eine Oxidation zu verhindern. Vertikales Sintern kann die Dichte erhöhen, aber eine präzise Stromregelung ist erforderlich, um eine Verflüchtigung der Seltenen Erden zu vermeiden.

Vorsintern: Durchgeführt bei 1200 ± 50 °C, Vakuum oder Wasserstoffatmosphäre, Entfernen des Bindemittels und vorläufige Dichte, Halten für 2 bis 4 Stunden. Die Dichte des vorgesinterten Körpers erreicht 80 % bis 85 % und bietet eine stabile Struktur für das anschließende Hochtemperaturesintern.

Optimierungstechnologie: Die Zugabe von Additiven wie ZrH_2 (0,1 % bis 0,5 %) kann den Sauerstoffgehalt reduzieren, eine stabile Phase wie $La_2Zr_2O_7$ bilden und die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Elektronenemissionsleistung verbessern. Durch die segmentierte Heizung werden Risse durch Temperaturgradienten vermieden. REM und TEM analysierten die Mikrostruktur nach dem Sintern, um die Verteilung der Seltenen Erden und den Kornzustand zu bestätigen.

Fehlerkontrolle: Häufige Defekte sind Spaltöffnungen (aufgrund von Restsauerstoff), Kornvergrößerung (aufgrund von zu hoher Temperatur) und Abscheidung von Seltenen Erden (aufgrund von Verflüchtigung). Durch die Optimierung des Vakuumsgrades und der Haltezeit wird die Porosität auf weniger als 0,1 % reduziert. Beim Grünsintern wird energiesparendes SPS verwendet, um die Kohlenstoffemissionen zu reduzieren.

3.6 Druckaufbereitungstechnik

Bei der Druckbearbeitung werden gesinterte Rohlinge zu Elektrodenstäben verarbeitet, wodurch die Dichte und Oberflächenqualität verbessert werden, und zu den gängigen Methoden gehören das Rotationsschmieden, Ziehen und Richten.

Rotationsschmieden: Der Durchmesser des gesinterten Knüppels wird mit der Bohrhammermaschine von 20 mm auf 3 bis 10 mm reduziert, und die Verformungsrate beträgt 20 % bis 30 % pro Durchgang. Die Verarbeitungstemperatur beträgt 800 bis 1200 °C, um die Plastizität der Wolframmatrix zu erhalten. Rotationsschmiedeanlagen müssen mit einem automatischen Vorschubsystem ausgestattet sein, um eine gleichmäßige Verformung zu gewährleisten. Nach mehrmaligem Rundhalsschmieden erreicht die Materialdichte mehr als 99,5 % und die Körner werden weiter veredelt.

Zeichnung: Die Stange wird mit Hartmetallmatrizen gedehnt, um den Durchmesser auf 0,5 bis 10 mm zu reduzieren. Die Auszugsgeschwindigkeit beträgt 0,5 bis 2 m/min, geschmiert mit Graphitemulsion, und der Reibungskoeffizient beträgt $< 0,1$. Die Kettenziehmaschine erreicht eine kontinuierliche Produktion und verbessert die Effizienz. Die Oberflächenrauheit der Stange nach dem Ziehen beträgt $Ra < 0,5$ Mikrometer.

Richten und Schneiden: Beim Richten wird eine Rollenrichtmaschine eingesetzt, um sicherzustellen, dass die Geradheitsabweichung der Stange $< 0,1$ mm/m beträgt. Das Schneiden erfolgt durch Laser- oder mechanisches Schneiden mit einer Länge von 150 bis 175 mm und einer Toleranz von $\pm 0,5$ mm.

Optimierung und Fehlerkontrolle: Die Finite-Elemente-Simulation optimiert die Verformungsparameter, um das Risiko von Rissen zu verringern. Die Diffusionsverteilung von Seltenerdoxid erhöht die Zähigkeit des Materials und reduziert die Bruchrate. Häufige Defekte sind Oberflächenkratzer (aufgrund unzureichender Schmierung) und innere Risse (aufgrund zu hoher Verformungsraten), die durch Schmierungsoptimierung und segmentale Verformung behoben werden.

Automatisierung: Die Druckbehandlungslinie integriert ein Online-Inspektionssystem, um den Durchmesser und die Oberflächenqualität in Echtzeit zu überwachen. Der Automatisierungsgrad

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

erhöht die Ausbeute auf mehr als 98% und senkt die Arbeitskosten.

3.7 Oberflächenbehandlung und Beschichtungstechnik

Die Oberflächenbehandlungs- und Beschichtungstechnologie ist der letzte Schritt zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit und der Elektronenemissionseigenschaften von Seltenerd-Verbundelektroden, einschließlich Polieren, Reinigen und optionaler Beschichtungen.

Polieren: Mechanisches Polieren (Schleifscheibe oder Poliertuch) und elektrochemisches Polieren. Beim mechanischen Polieren werden Aluminiumoxid-Schleifmittel mit einer Partikelgröße von 2000 mesh und einer Oberflächenrauheit von $Ra < 0,2$ Mikrometern verwendet. Das elektrochemische Polieren wird in einer gemischten Schwefelsäure-Phosphorsäure-Lösung mit einer Stromdichte von 0,5 bis 1 A/cm² durchgeführt, um Mikrodefekte an der Oberfläche zu entfernen und das Finish zu verbessern.

Reinigung: Öl und Oxide werden durch Ultraschallreinigung entfernt, die Reinigungslösung ist eine alkalische Lösung (pH 8 bis 10), eine Temperatur von 50 bis 60 °C, eine Ultraschallfrequenz von 40 kHz und eine Zeit von 5 bis 10 Minuten. Nach der Reinigung mit entionisiertem Wasser abspülen und bei 80°C trocknen, um Restfeuchtigkeit zu vermeiden.

Beschichtungstechniken: Seltenerdoxide oder keramische Beschichtungen wie La₂O₃- oder ZrO₂-Folien können optional aufgebracht werden, die durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD) oder Plasmaspritzen erreicht werden. Die Beschichtung ist 1 bis 5 Mikrometer dick, was die Oxidationsbeständigkeit und die Effizienz der Elektronenemission verbessert. Der CVD-Prozess wurde bei 800 bis 1000 °C bei niedrigem Druck (10⁻² Pa) bei einer Abscheiderate von 0,1 µm/min durchgeführt.

Optimiert und umweltfreundlich: Die Plasmareinigung verbessert die Haftung der Beschichtung und reduziert die Vorbehandlungszeit. Bei der grünen Technologie werden wasserbasierte Reinigungsmittel verwendet, um organische Lösungsmittel zu ersetzen und die Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen (VOC) zu reduzieren. Die Rückgewinnungsrate von Beschichtungsmaterialien liegt bei mehr als 90 %, was den Anforderungen der Kreislaufwirtschaft entspricht.

3.8 Kontrolle der wichtigsten Parameter im Vorbereitungsprozess

Schlüsselparameter werden während des gesamten Vorbereitungsprozesses kontrolliert, um die Konsistenz der Elektrodenqualität und die Leistungsoptimierung unter Einbeziehung von Temperatur, Druck, Vakuum und Zeit zu gewährleisten.

Reduktionsstufe: Die Reduktionstemperatur der ersten Stufe beträgt 500 bis 600 °C, die zweite Stufe 800 bis 950 °C und die Abweichung ± 5 °C. Wasserstoffdurchfluss 0,5 bis 1,5 m³/h, Reinheit 99,99 %. Bei der Überwachung des Sauerstoffgehalts wird ein Gasanalysator verwendet, um einen Wert von unter 0,01 % zu kontrollieren.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Formphase: kalter isostatischer Druck 100 bis 300 MPa, Haltezeit 5 bis 10 Minuten, Druckabweichung <1%. Formdruck 150 bis 200 MPa, der Bindemittelgehalt wird genau gemessen (0,5 % bis 1 %).

Sinterstufe: Vakuum-Heißpress-Sintertemperatur 1600 bis 1800 °C, Heizrate 4 bis 10 °C/min, Vakuumgrad 10^{-3} Pa, Wärmekonservierung für 60 bis 90 Minuten. SPS-Ströme werden von 1000 bis 2000 A und Drücke von 30 bis 50 MPa geregelt. Temperatur- und Drucksensoren sorgen für stabile Parameter.

Druckverarbeitung: Rotationsschmiedetemperatur 800 bis 1200 °C, Verformungsrate 20 % bis 30 %. Ziehgeschwindigkeit 0,5 bis 2 m/min, Schmierstoffflussüberwachung. Die Richtabweichung < 0,1 mm/m.

Qualitätskontrolle: Die statistische Prozesskontrolle (SPC) wird verwendet, um Parameterdaten in Echtzeit zu sammeln und KI-Algorithmen zu kombinieren, um Abweichungen vorherzusagen. Wichtige Leistungsindikatoren wie die Elektronenausstrittsleistung (<2,5 eV) wurden experimentell validiert. Das digitale Managementsystem erfasst die Daten des gesamten Prozesses, um die Rückverfolgbarkeit zu gewährleisten.

3.9 Prozessoptimierung und häufige Fehleranalyse

Die Prozessoptimierung verbessert die Produktionseffizienz und Produktqualität und analysiert und verbessert häufige Defekte wie Risse, Porosität und Abscheidung von Seltenen Erden.

Optimierungsmaßnahmen:

Mechanisches Legieren: Verlängern Sie die Kugelmahlzeit auf 12 Stunden, verfeinern Sie die Partikel auf 0,1 Mikrometer und verbessern Sie die Sinteraktivität.

SPS-Sintern: verkürzt die Haltezeit auf 5 Minuten, reduziert die Verflüchtigung von Seltenen Erden und kontrolliert die Korngröße auf 3 bis 5 Mikrometer.

Additive werden hinzugefügt: 0,1 % bis 0,5 % ZrH_2 reduzieren den Sauerstoffgehalt, bilden eine stabile Phase und verbessern die Elektronenemissionsleistung.

Automatisierte Steuerung: Integrierte Sensoren und KI-Optimierungsparameter, die Ausbeute wird auf mehr als 95% gesteigert.

Fehleranalyse:

Risse: Aufgrund des ungleichmäßigen Umformdrucks oder des großen Sintertemperaturgradienten wird es durch mehrstufige Umformung und segmentierte Erwärmung gelöst.

Porosität: Aufgrund von unzureichendem Restsauerstoff oder Sintervakuum wurde der Vakuumgrad auf 10^{-3} Pa optimiert und die Porosität auf 0,1 % reduziert.

Abscheidung von Seltenen Erden: Verflüchtigung bei hohen Temperaturen, gemildert durch Reduzierung der Sintertemperatur und Zugabe von Stabilisatoren (z. B. ZrO_2).

Verifikationsmethode: Die Finite-Elemente-Simulation sagt die Fehlerverteilung voraus, und REM und Ultraschalldetektion verifizieren den Optimierungseffekt. Nach der Optimierung wird die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Lebensdauer der Elektrode um 20 % verlängert und die Leistungskonsistenz um 10 % verbessert.

3.10 Grüne Aufbereitungstechnik

Die grüne Aufbereitungstechnologie konzentriert sich auf Umweltschutz und Nachhaltigkeit, ersetzt radioaktive Thorium-Wolfram-Elektroden und reduziert die Umweltbelastung.

Rohstoffrückgewinnung: Extrahieren Sie Rohstoffe aus Wolframelektrodenabfällen und Seltenerdabfällen mit einer Rückgewinnungsrate von mehr als 80 %, wodurch der Mineralienabbau reduziert wird. Saubere Reduktion: Durch den Einsatz von Elektroheizöfen, die mit erneuerbarer Energie betrieben werden, wird Wasserstoff recycelt und Abgase werden durch katalytische Verbrennung behandelt. Energiesparendes Sintern: SPS-Sintern reduziert den Energieverbrauch um 30 % und die Kohlenstoffemissionen um 20 % im Vergleich zum herkömmlichen Heißpressen. Umweltfreundliche Reinigung: Wasserbasierte Reinigungsmittel ersetzen organische Lösungsmittel und reduzieren so die VOC-Emissionen um 90 %. Die Abfallflüssigkeit gewinnt durch Ionenaustausch Seltene Erden zurück. Entsorgung: Altelektroden werden durch Hochtemperaturschmelzen aus Wolfram und Seltenen Erden zurückgewonnen, mit einer Recyclingquote von 85 %.

Grüne Technologien entsprechen den REACH- und RoHS-Vorschriften, verbessern die Wettbewerbsfähigkeit des Marktes und fördern eine nachhaltige Entwicklung.

3.11 Flussdiagramm für Produktionsprozesse in großem Maßstab

Das Flussdiagramm für den Produktionsprozess in großem Maßstab sieht wie folgt aus:

Rohstoffaufbereitung: Wolframtrioxid und Seltenerdnitrat wiegen, Lösung herstellen (pH 5,5 bis 6,5).

Mischen und Trocknen: Sprühdotierung, Trocknung bei 80 bis 120°C, Siebung 200 mesh.

Reduktion: Zwei Stufen der Wasserstoffreduktion (500 bis 600 °C, 800 bis 950 °C), Sauerstoffgehalt < 0,01 %.

Formen: kalisostatisches Pressen (100 bis 300 MPa) oder Formen, 60 % bis 70 % Dichte des Körpers.

Vorsintern: 1200°C, Bindemittel entfernen.

Sintern: Vakuum-Heißpressen (1600 bis 1800 °C, 60 MPa) oder SPS (1400 bis 1600 °C).

Druckbearbeitung: Rotationsschmieden (Durchmesser 3 bis 10 mm), Ziehen (0,5 bis 10 mm), Richten.

Oberflächenbehandlung: mechanisches/elektrochemisches Polieren (Ra<0,2 Mikron), Ultraschallreinigung.

Qualitätsprüfung: REM, XRD, Leistungstest (elektronische Ausgangsleistung < 2,5 eV).

Verpackung und Lagerung: feuchtigkeitsbeständige Verpackung mit einer Lagertemperatur von 10 bis 25 °C.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung



Kapitel 4 Physikalische, chemische und schweißtechnische Eigenschaften von Seltenerd-Komposit-Wolframelektroden

4.1 Mechanische Eigenschaften von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Die mechanischen Eigenschaften von Seltenerd-Seltenerd-Verbundelektroden sind der Schlüssel zu ihrer Anwendung in anspruchsvollen Industrieumgebungen, einschließlich Härte, Festigkeit, Zähigkeit und Verschleißfestigkeit. Diese Eigenschaften werden durch die Zugabe von Wolframmatrix- und Seltenerdoxiden beeinflusst und sind deutlich besser als bei reinen Wolframelektroden.

Härte: Die Vickers-Härte (HV) der Wolframmatrix liegt zwischen 400 und 450, und die Zugabe von Seltenerdoxiden (z. B. Lanthanoxid, Ceroxid) verbessert die Härte durch Kornfeinung weiter, typischerweise bis zu 450 bis 500 HV. Die Erhöhung der Härte ist auf die Diffusionsverstärkung von Seltenerdoxidpartikeln zurückzuführen, die Nagelspitzen an der Wolframkorngrenze bilden, um das Verrutschen der Korngrenze zu verhindern. So haben Elektroden mit 2 % Lanthanoxid eine um etwa 15 % höhere Härte als reines Wolfram und eignen sich daher für das Hochlastschweißen.

Festigkeit: Die Zugfestigkeit von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden beträgt 800 bis 1000 MPa bei Raumtemperatur und 400 bis 600 MPa bei hohen Temperaturen (1500 °C). Seltenerdoxide erhöhen die Festigkeit der Matrix, indem sie stabile zweite Phasen wie La_2O_3 - oder CeO_2 -Partikel

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

bilden. Die Zugabe von Yttriumoxid ist von besonderer Bedeutung, da Elektroden mit 2 % Y_2O_3 eine um 20 % höhere Zugfestigkeit bei hohen Temperaturen aufweisen als reines Wolfram und damit für das Schweißen von Bauteilen in der Luft- und Raumfahrt geeignet sind.

Zähigkeit: Reine Wolframelektroden haben aufgrund ihrer groben Körner eine hohe Sprödigkeit und ihre Bruchzähigkeit (K_{Ic}) beträgt etwa $6 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$. Durch die Zugabe von Seltenerdoxiden werden die Körner auf 5 bis 10 Mikrometer verfeinert und die Bruchzähigkeit auf 8 bis $10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ verbessert. Die synergistische Wirkung von Ceroxid und Lanthanoxid verbessert die Zähigkeit, indem sie Korngrenzendefekte reduziert und das Risiko eines Bruchs an der Elektrodenspitze während des Schweißens verringert.

Verschleißfestigkeit: Die Verschleißfestigkeit von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden wird durch die Dispergierung und Verstärkung von Seltenerdoxiden deutlich verbessert. Beim Hochstromschweißen verschleißt die Elektrodenspitze aufgrund der hohen Temperatur des Lichtbogens, und die zirkoniumdioxidhaltige Elektrode reduziert die Verschleißrate um 30 %, indem sie eine schützende Oxidschicht bildet. Abriebfestigkeitstests zeigen, dass das Verschleißvolumen von Kompositelektroden um etwa 40 % geringer ist als das von reinen Wolframelektroden, wodurch die Lebensdauer verlängert wird.

Prüfverfahren: Die mechanischen Eigenschaften werden mit dem Vickers-Härteprüfgerät, dem Universal-Zugprüfgerät und dem Schlagprüfgerät bestimmt. Die Leistungsprüfung bei hohen Temperaturen wird in einem Vakuum oder einer inerten Atmosphäre durchgeführt, um die Schweißumgebung zu simulieren. Die mikroskopische Analyse wurde mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) durchgeführt, um die Bruchmorphologie zu beobachten und den Verstärkungsmechanismus von Seltenerdpartikeln zu bestätigen.

Die Optimierung der mechanischen Eigenschaften ermöglicht es, dass Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen beim hochfesten Langzeitschweißen eine gute Leistung erbringen und sich besonders für anspruchsvolle Anwendungen wie die Herstellung von Kernkraftwerken und Flugzeugtriebwerken eignen.

4.2 Thermische Eigenschaften von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Die thermischen Eigenschaften bestimmen die Stabilität und Haltbarkeit von Seltenerdmetall-Verbundelektroden in Hochtemperatur-Lichtbogenumgebungen, einschließlich des Schmelzpunkts, der Wärmeleitfähigkeit und des Wärmeausdehnungskoeffizienten.

Schmelzpunkt: Der Schmelzpunkt der Wolframmatrix liegt bei 3410°C , was die Grundlage für die hohe Temperaturstabilität der Kompositelektrode ist. Die Zugabe von Seltenerdoxiden (wie La_2O_3 , CeO_2) hat nur einen geringen Einfluss auf den Schmelzpunkt, aber die Beständigkeit gegen Hochtemperaturverformung wird durch die Verbesserung der Mikrostruktur erhöht. Die Elektrode mit 2 % Yttriumoxid bleibt oberhalb von 3000°C strukturell intakt und eignet sich daher für das Plasmaschneiden und Hochtemperaturschmelzen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Wärmeleitfähigkeit: Die Wärmeleitfähigkeit von Wolfram liegt bei ca. 174 W/(m·K) (Raumtemperatur), die bei hohen Temperaturen leicht abnimmt. Die Zugabe von Seltenerdoxiden erhöht die Wärmeleitfähigkeit um 5 bis 10 %, indem die Körner veredelt und der Wärmeableitungswiderstand an den Korngrenzen verringert werden. So beträgt beispielsweise die Wärmeleitfähigkeit von Ceroxid-haltigen Elektroden 180 bis 190 W/(m·K) bei 1000 °C, was zu einer schnellen Wärmeableitung beiträgt und das Durchbrennen der Spitze reduziert.

Wärmeausdehnungskoeffizient: Der Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolfram beträgt $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, und seine geringe Wärmeausdehnung reduziert die thermische Belastung bei hohen Temperaturen. Die Zugabe von Seltenerdoxiden erhöht den Wärmeausdehnungskoeffizienten leicht (bis zu $4,8$ bis $5,0 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), aber die thermische Belastung kann durch Optimierung des Verhältnisses (z. B. die Kombination von Zirkonoxid und Lanthanoxid) kontrolliert werden, um die Stabilität der Elektrode während des thermischen Zyklus zu gewährleisten.

Temperaturschockleistung: Die Verbund-Seltenerd-Wolframelektrode wird durch die Diffusion von Seltenerdoxiden verstärkt und die Temperaturwechselbeständigkeit erheblich verbessert. Die Zirkonoxid-haltige Elektrode bleibt bei schnellem Temperaturanstieg (>1000 °C/min) rissfrei und eignet sich daher für das Hochfrequenzschweißen. Der Thermoschocktest verwendet die Methode der schnellen Kälte und des schnellen Wärmewechsels, und die Anzahl der Zyklen der Kompositelektrode ist 50% höher als die von reinem Wolfram.

Prüfverfahren: Die Wärmeleitfähigkeit wird mit dem Laserblitzverfahren bestimmt und der Wärmeausdehnungskoeffizient wird im Bereich von 25 bis 2000 °C mit einem Explanator getestet. Das Temperaturwechselverhalten wird durch einen Lichtbogen-simulationstest bewertet und die Zeit des Auftretens von Rissen aufgezeichnet. Die Optimierung der thermischen Eigenschaften ermöglicht es der Kompositelektrode, in Umgebungen mit hohen Temperaturen und hoher Wärmebelastung eine gute Leistung zu erbringen.

4.3 Elektrische Eigenschaften von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Elektrische Eigenschaften sind die Hauptvorteile von Seltenerd-Verbundelektroden, die ihre Lichtbogeninitiierungsleistung und Lichtbogenstabilität beim Schweißen bestimmen, hauptsächlich einschließlich Elektronenaustrittsarbeit, Leitfähigkeit und Lichtbogeneigenschaften.

Elektronenaustrittsarbeit: Die Elektronenaustrittsarbeit von reinen Wolframelektroden beträgt 4,5 eV, was zu einer Lichtbogeninitiierung führt. Durch die Zugabe von Seltenerdoxiden wurde die Fluchtarbeit deutlich reduziert, so wurde beispielsweise die Fluchtarbeit der Elektrode mit 2 % Ceroxid auf 2,2 bis 2,5 eV reduziert und die Kombination von Lanthanoxid und Yttriumoxid weiter auf unter 2,0 eV optimiert. Die geringe Fluchtleistung ermöglicht es der Elektrode, bei niedriger Spannung schnell einen Lichtbogen zu erzeugen, wodurch der Energieverbrauch gesenkt wird.

Leitfähigkeit: Die Leitfähigkeit von Wolfram beträgt $1,82 \times 10^7$ S/m (Raumtemperatur), und die Zugabe von Seltenerdoxiden verbessert die Leitfähigkeit leicht, indem sie den Korngrenzwiderstand verringert. Die Elektrode, die Lanthanoxid enthält, erhöht die Leitfähigkeit bei 1000 °C um 5 % und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

sorgt so für einen hohen Wirkungsgrad der Stromübertragung. Bei der Leitfähigkeitsprüfung wird die Vier-Sonden-Methode verwendet, um die Optimierung der Stromverteilung durch die gleichmäßige Verteilung der Seltenerdpartikel zu bestätigen.

Lichtbogeneigenschaften: Die Lichtbogenstabilität von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden beträgt mehr als 95 %, was besser ist als 80 % von reinem Wolfram. Seltenerdoxide bilden einen Emissionspunkt mit niedrigem Austrittsarbeitspunkt auf der Elektrodenoberfläche, der die Elektronenemissionseffizienz erhöht und den Lichtbogen konzentriert und stabil macht. Die Elektrode, die Ceroxid und Lanthanoxid enthält, reduziert die Lichtbogendrift beim Wechselstromschweißen um 30 % und ist somit für das Schweißen von Aluminiumlegierungen geeignet. Die Lichtbogenprüfung überprüft die Stabilität durch Hochgeschwindigkeitsfotografie und Stromschwankungsanalyse.

Optimierungsmechanismus: Seltenerdoxide wandern bei hohen Temperaturen an die Elektrodenoberfläche, bilden eine aktive Emissionsschicht und reduzieren die Anlaufspannung des Lichtbogens (von 50 V auf 30 V für reines Wolfram). Multivariate Komposite (z. B. WLaCeY) verbessern die Lebensdauer des Lichtbogens, indem sie die Elektronenemission und die thermische Stabilität synergetisch ausgleichen.

Prüfverfahren: Die Elektronenaustrittsarbeit wird durch Ultraviolett-Photoelektronenspektroskopie (USV) bestimmt, und die Leitfähigkeit wird mit einem hochpräzisen Widerstandsmessgerät gemessen. Die Lichtbogeneigenschaften werden in einer simulierten WIG-Schweißumgebung getestet, wobei die Startzeit des Lichtbogens und die Lichtbogenlänge aufgezeichnet werden. Die Überlegenheit der elektrischen Eigenschaften macht Kompositelektroden beim Präzisionsschweißen unersetzlich.

4.4 Chemische Stabilität und Korrosionsbeständigkeit von Seltenerd-Verbundelektroden aus Seltenerd-Wolfram

Chemische Stabilität und Korrosionsbeständigkeit bestimmen die Haltbarkeit von Seltenerd-Komposit-Wolframelektroden in komplexen Umgebungen, insbesondere in Hochtemperatur-, oxidierenden oder korrosiven Gasatmosphären.

Chemische Stabilität: Die Wolframmatrix hat eine ausgezeichnete Stabilität gegenüber Säuren, Laugen und Wasser bei Raumtemperatur und ist nicht anfällig für chemische Reaktionen. Die Zugabe von Seltenerdoxid erhöht die chemische Stabilität bei hohen Temperaturen zusätzlich. So bilden Zirkonoxid und Yttriumoxid eine Schutzschicht auf der Oberfläche der Elektrode, die die Reaktion von Wolfram mit Sauerstoff oder Stickstoff hemmt. Die Oxidationsrate der Elektrode mit 2 % Zirkonoxid wurde bei 2000 °C und sauerstoffreicher Atmosphäre um 40 % reduziert.

Korrosionsbeständigkeit: Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden eignen sich hervorragend für korrosive Gase wie Argon, die Spuren von Wasserdampf enthalten. Die Zugabe von Lanthanoxid und Ceroxid reduziert die Oxidablagerungen auf der Elektrodenoberfläche und erhöht die Antikontaminationsfähigkeit um 50 %. In einer Umgebung mit hoher Luftfeuchtigkeit beträgt die

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Korrosionsrate der Elektrode, die Zirkonoxid enthält, nur 1/3 der von reinem Wolfram, was die Lebensdauer verlängert.

Verschmutzungsbeständigkeit: Beim Schweißen können Elektroden durch Schmelzbadspritzer oder gasförmige Verunreinigungen verunreinigt werden. Seltenerdoxide reduzieren die Adsorption von Verunreinigungen und erhalten die Lichtbogenstabilität, indem sie eine stabile Oberflächenschicht bilden. Der Test zeigte, dass die Lichtbogenstabilität der Ceroxid-haltigen Elektrode in einer verschmutzten Umgebung um mehr als 90 % erhalten blieb.

Prüfmethode: Die chemische Stabilität wurde durch ein Hochtemperatur-Oxidationsexperiment (1500 bis 2000 °C, Sauerstoffpartialdruck 10^{-2} Pa) bewertet und die Massenverlustrate aufgezeichnet. Die Korrosionsbeständigkeit verwendet einen Salzsprühtest und einen elektrochemischen Korrosionstest, um die Korrosionsstromdichte zu messen. Durch die Simulation der Schweißumgebung wird die Oberflächenmorphologie der Elektrode beobachtet.

Durch die verbesserte chemische Stabilität und Korrosionsbeständigkeit eignet sich die Kompositelektrode für komplexe Arbeitsbedingungen, wie z. B. die Schiffstechnik und das Schweißen chemischer Geräte.

4.5 Schweißigenschaften von Seltenerd-Verbundelektroden aus Seltenerd-Wolfram

Die Schweißigenschaften sind die wichtigsten Anwendungsindikatoren von Seltenerd-Seltenerd-Verbundelektroden, einschließlich der Lichtbogeneinleitungsleistung, der Lichtbogenbrenndauer, der Eindringtiefenkontrolle und der Schweißqualität.

Leistung bei der Lichtbogenzündung: Seltenerdoxide reduzieren die Elektronenaustrittsarbeit, reduzieren die Lichtbogenspannung von 50 V auf 25 bis 30 V bei reinem Wolfram und verkürzen die Startzeit des Lichtbogens auf weniger als 0,1 Sekunden. Elektroden, die Ceroxid enthalten, eignen sich gut für niedrige Ströme (<50 A) für das Präzisionsschweißen. Elektroden, die Lanthanoxid enthalten, haben eine höhere Lichtbogenstabilität beim Wechselstromschweißen.

Lichtbogenlebensdauer: Die Lichtbogenlebensdauer von Kompositelektroden erreicht 500 bis 1000 Stunden, was 2 bis 3 Mal länger ist als bei reinen Wolframelektroden (200 bis 300 Stunden). Die niedrige Verdampfungsrate und die Ausbrandbeständigkeit von Seltenerdoxiden reduzieren die Spitzenverluste, und die Elektrode mit Yttriumoxid verlängert ihre Lebensdauer bei hohen Strömen (>200 A) um 30 %.

Eindringtiefenkontrolle: Die Lichtbogenkonzentration der Kompositelektrode ist hoch und die Gleichmäßigkeit der Eindringtiefe wird um 20 % erhöht. Elektroden, die Lanthanoxid und Ceroxid enthalten, können beim WIG-Schweißen von 0,5 bis 5 mm präzise gesteuert werden und eignen sich daher sowohl für das Schweißen von dünnen als auch von dicken Blechen. Die Bogenform wird durch Hochgeschwindigkeitsfotografie analysiert, um ihre Stabilität zu bestätigen.

Schweißqualität: Die Kompositelektrode reduziert Lichtbogendrift und Spritzer, die

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Schweißnahtoberfläche ist glatt und die Porosität wird um 50 % reduziert. Elektroden mit WLaCeY erhöhen die Zugfestigkeit der Schweißnaht beim Schweißen von Aluminiumlegierungen um 10 % und erfüllen damit die Anforderungen der Luft- und Raumfahrt.

Prüfverfahren: Mit dem WIG-Schweißprüfstand werden die Schweiß Eigenschaften geprüft und die Lichtbogenanlaufspannung, der Lichtbogenzündzeitpunkt und die Eindringtiefenverteilung erfasst. Die Qualität der Schweißnaht wird durch eine zerstörungsfreie Röntgenprüfung und eine metallographische Analyse zur Bestätigung der Fehlerrate bestätigt. Die Überlegenheit der Schweiß Eigenschaften hat die breite Anwendung von Kompositelektroden in hochpräzisen Bereichen gefördert.

4.6 Auswirkungen der Zugabe von Seltenen Erden auf das Gefüge

Die Zugabe von Seltenerd oxiden veränderte die Mikrostruktur der Komposit-Seltenerd-Wolframelektrode erheblich und beeinträchtigte deren Leistung. Die Auswirkungen werden von der Kornstruktur über die Phasenverteilung bis hin zur Fehlerkontrolle analysiert.

Kornverfeinerung: Die Korngröße von reinen Wolframelektroden beträgt 20 bis 50 Mikrometer, was bei hohen Temperaturen leicht zu grob ist. Seltenerd oxide (z. B. La_2O_3 , CeO_2) hemmen das Kornwachstum durch den Pinning-Effekt und reduzieren die Korngröße auf 5 bis 10 Mikrometer. Die REM-Analyse zeigte, dass die Korngleichmäßigkeit der Elektrode mit 2 % Yttriumoxid um 30 % erhöht wurde, was die Zähigkeit und Ermüdungsbeständigkeit erhöhte.

Phasenverteilung: Seltenerd oxide bilden diffuse Zweitphasenpartikel in einer Wolframmatrix mit einer Größe von 50 bis 200 nm. Diese Partikel sind gleichmäßig innerhalb der Korngrenzen und Körner verteilt, wodurch die Festigkeit der Matrix erhöht wird. Zirkonoxid und Lanthanoxid verbinden sich zu einer Kompositphase (z. B. $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$), um die Stabilität bei hohen Temperaturen zu verbessern. Die XRD-Analyse bestätigt die Stabilität und Verteilung von Seltenerdphasen.

Defektkontrolle: Seltenerd oxide reduzieren Korngrenzendefekte (wie Leerstellen, Versetzungen) und verringern die Kriechrate bei hohen Temperaturen. Die Defektdichte der Ceroxid-haltigen Elektrode wurde um 40% reduziert, was durch TEM-Beobachtung bestätigt wurde. Die Zugabe von Seltenen Erden hemmt zudem die Ausbreitung von Mikrorissen und verbessert die Bruchzähigkeit. Analyse des Mechanismus: Seltenerd oxide wandern während des Sinterns an die Korngrenzen, bilden Nagelspitzen und hemmen den Schlupf und das Wachstum der Fasern. Bei hohen Schweißtemperaturen wandern Seltenerdpartikel an die Oberfläche, bilden eine elektronenemittierende aktive Schicht und reduzieren die Fluchtarbeit. Durch die Optimierung der Mikrostruktur wird die Gesamtleistung der Elektrode deutlich verbessert.

4.7 Vergleich der Leistung von Wolframelektroden

Es gibt signifikante Leistungsunterschiede zwischen Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden und reinen Wolframelektroden und Thoriumwolframelektroden, und die folgenden Vergleiche werden unter vielen Aspekten angestellt:

Elektronenemissionsleistung: Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden (Fluchtleistung 2,0 bis 2,5

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

eV) sind besser als reines Wolfram (4,5 eV) und Thoriumwolfram (2,6 bis 2,8 eV), und die Lichtbogen­spannung ist 20 bis 30 V niedriger, wodurch sie für das Präzisionsschweißen geeignet sind.

Lichtbogenstabilität: Die Stabilität der Kompositelektrode beträgt > 95%, reines Wolfram 80% und Thoriumwolfram 90%. Die Elektrode, die Lanthanoxid enthielt, hatte die geringste Driftrate beim AC-Schweißen.

Lebensdauer: 500 bis 1000 Stunden Lichtbogenbrenndauer der Kompositelektrode, 200 bis 300 Stunden reines Wolfram, 300 bis 500 Stunden Thoriumwolfram. Die Zugabe von Seltenen Erden verlängert die Lebensdauer um das 2- bis 3-fache.

Mechanische Eigenschaften: Härte der Kompositelektrode 450 bis 500 HV, Zugfestigkeit 800 bis 1000 MPa, besser als reines Wolfram (400 HV, 700 MPa) und Thoriumwolfram (420 HV, 750 MPa).

Umweltschutz: Die Kompositelektrode ist nicht radioaktiv und entspricht der REACH-Verordnung; Thoriumwolfram enthält radioaktives Thorium und erfordert eine besondere Behandlung; Reines Wolfram ist nicht radioaktiv, hat aber eine schlechte Leistung.

Anwendungsbereich: Die Kompositelektrode eignet sich zum WIG-Schweißen, Plasmaschweißen, Schneiden und für Batterien mit neuer Energie. Thoriumwolfram wird aufgrund von Umweltschutzauflagen reduziert; Reines Wolfram ist auf Szenarien mit geringer Nachfrage beschränkt.

Kompositelektroden sind herkömmlichen Elektroden weit überlegen und werden zur ersten Wahl für umweltfreundliche Fertigungs- und High-End-Anwendungen.

4.8 Anpassungsfähigkeit von Seltenerdmetall-Komposit-Wolframelektroden an die Umwelt

Die Anpassungsfähigkeit von Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen an die Umwelt spiegelt sich in ihrer stabilen Leistung bei hohen Temperaturen, hoher Luftfeuchtigkeit und korrosiven Umgebungen wider.

Hochtemperaturumgebung: Die Elektrode, die Yttriumoxid und Zirkonoxid enthält, behält ihre strukturelle Integrität über 3000 °C bei, und ihre Oxidationsbeständigkeit wird um 40 % erhöht, wodurch sie für das Plasmaschneiden und das Hochtemperaturschmelzen geeignet ist.

Umgebung mit hoher Luftfeuchtigkeit: In einer Umgebung mit 90 % relativer Luftfeuchtigkeit beträgt die Korrosionsrate der Elektrode, die Ceroxid enthält, nur 1/3 der von reinem Wolfram, und die Lichtbogenstabilität wird bei mehr als 90 % gehalten.

Korrosive Gase: In schwefel- oder chlorhaltigen Atmosphären reduziert die Zirkonoxid-Schutzschicht Elektrodenoberflächenreaktionen und reduziert die Korrosionsrate um 50 %. Die Verschmutzungsbeständigkeit wird durch simulierte Spritztests überprüft.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Prüfmethode: Die Anpassungsfähigkeit an hohe Temperaturen wird durch einen Temperaturwechseltest (25 bis 2000 °C, 100 Zyklen) bewertet. Bei Tests bei hoher Luftfeuchtigkeit und Korrosion werden Klimakammern eingesetzt, in denen Qualitätsverluste und Leistungsänderungen aufgezeichnet werden. Die Anpassungsfähigkeit von Kompositelektroden an die Umwelt macht sie geeignet für die Meerestechnik und chemische Anwendungen.

4.9 Analyse der Ermüdungs- und Lebensdauereigenschaften von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Ermüdungs- und Lebensdauereigenschaften sind die Schlüsselindikatoren zur Bewertung der Haltbarkeit von Seltenerd-Seltenerd-Verbundelektroden, die die Ermüdung bei hohen Temperaturen, die Ermüdung des thermischen Zyklus und die Lebensdauer des Lichtbogens umfassen.

Ermüdung bei hohen Temperaturen: Die Kompositelektrode wird zyklisch bei 1500 bis 2000 °C belastet, und die Ermüdungslebensdauer erreicht das 10^4 - bis 10^5 -fache, was besser ist als die 10^3 -fache von reinem Wolfram. Seltenerdoxide veredeln Körner und reduzieren die Ausbreitung von Ermüdungsrissen.

Ermüdung thermischer Zyklen: Die Elektrode mit Zirkonoxid kann bei dem schnellen Temperaturanstieg und -abfall (1000 °C/min) bis zu 500 Mal ohne Risse zyklisch betrieben werden. Die thermische Belastung wurde durch Finite-Elemente-Simulationsanalyse optimiert, um das Verhältnis der Seltenen Erden zu optimieren.

Lichtbogenlebensdauer: Die Lebensdauer der Kompositelektrode beträgt 500 bis 1000 Stunden beim 200-A-Gleichstromschweißen, und die Lebensdauer der Elektrode mit WLaCeY wird beim Wechselstromschweißen um 20 % verlängert. Lebensdauertest Durch kontinuierliche Schweißversuche wird die Spitzenverschleißrate erfasst.

Analysemethode: Die Ermüdungsleistung wird durch den Hochtemperatur-Zugwechselversuch und die Lebensdauer durch den Lichtbogenverbrennungsversuch bewertet. REM und Bruchanalyse bestätigen den Ermüdungsversagensmechanismus. Die Langlebigkeit von Kompositelektroden senkt die Wartungskosten und verbessert die industrielle Effizienz.

4.10 Verbund-Seltenerd-Wolframelektroden-Sicherheitsdatenblatt von CTIA GROUP LTD

Sicherheitsdatenblatt (MSDS) von CTIA GROUP LTD - Seltenerd-Wolframelektrode aus Verbundwerkstoff

Teil 1: Produktname

Chinesischer Name: Komposit-Seltenerd-Wolframelektrode (WLaCeY, WL, WC usw.)

Teil 2: Zusammensetzung/Informationen zur Zusammensetzung

Wolfram (>95%), Lanthanoxid (0,5 % bis 2 %), Ceroxid (0,5 % bis 2 %), Yttriumoxid (0,5 % bis 2 %), Zirkonoxid (0 bis 1 %)

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Teil 3: Überblick über die Gefahr

Gesundheitsgefahren: Dieses Produkt reizt Augen und Haut nicht.

Explosionsgefahr: Dieses Produkt ist nicht brennbar und nicht reizend.

Teil 4: Erste-Hilfe-Maßnahmen

Hautkontakt: Kontaminierte Kleidung ausziehen und mit viel fließendem Wasser abspülen.

Blickkontakt: Heben Sie das Augenlid an und spülen Sie es mit fließendem Wasser oder Kochsalzlösung ab. Ärztliche Behandlung.

Einatmen: Verlassen Sie die Szene an der frischen Luft. Wenn das Atmen schwierig ist, geben Sie Sauerstoff. Ärztliche Behandlung.

Essen: Trinken Sie so viel warmes Wasser, dass es zu Erbrechen kommt. Ärztliche Behandlung.

Teil 5: Brandschutzmaßnahmen

Schädliche Verbrennungsprodukte: Natürliche Zersetzungsprodukte sind unbekannt.

Löschmethoden: Feuerwehrleute müssen Gasmasken und Ganzkörper-Feuerwehrranzüge tragen, um das Feuer in Windrichtung zu löschen. Feuerlöschmittel: trockenes Lederpulver, Sand.

Teil 6: Notfallbehandlung von Leckagen

Notfallbehandlung: Isolieren Sie den undichten Verschmutzungsbereich und beschränken Sie den Zugang. Schneide den Brandherd ab. Es wird empfohlen, dass das Einsatzpersonal Staubmasken (Vollmasken) und Antigaskleidung trägt. Vermeiden Sie Staub, fegen Sie ihn vorsichtig auf und bringen Sie ihn in einer Tasche an einen sicheren Ort. Wenn es eine große Menge an Leckagen gibt, decken Sie sie mit Plastikfolie oder Leinwand ab. Sammeln und recyceln oder zur Entsorgung zu Abfallbehandlungsanlagen transportieren.

Teil 7: Betrieb, Entsorgung und Lagerung

Vorsichtsmaßnahmen für den Betrieb: Die Bediener müssen eine spezielle Schulung absolvieren und sich strikt an die Betriebsverfahren halten. Es wird empfohlen, dass der Bediener selbstansaugende Filterstaubmasken, Chemikalienschutzbrillen, Arbeitskleidung gegen giftige Durchdringung und Gummihandschuhe trägt. Abseits von Feuer- und Wärmequellen ist das Rauchen am Arbeitsplatz strengstens verboten. Verwenden Sie explosionsgeschützte Lüftungssysteme und -geräte. Vermeiden Sie Staub. Vermeiden Sie den Kontakt mit Oxidationsmitteln und Halogenen. Bei der Handhabung sollte es leicht be- und entladen werden, um Schäden an Verpackung und Behältern zu vermeiden. Ausgestattet mit den entsprechenden Sorten und Mengen an Feuerlöschgeräten und Geräten zur Notfallbehandlung von Leckagen. Leere Behälter können Schadstoffe hinterlassen.

Vorsichtsmaßnahmen bei der Lagerung: In einem kühlen, belüfteten Lager lagern. Halten Sie sich von Feuer und Wärmequellen fern. Es sollte getrennt von Oxidationsmitteln und Halogenen gelagert und nicht vermischt werden. Ausgestattet mit entsprechenden Sorten und Mengen an Feuerlöschgeräten. Der Lagerbereich sollte mit geeigneten Materialien ausgestattet sein, um das Verschütten einzudämmen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Teil 8: Kontaktkontrolle/Personenschutz

China MAC (mg/m³): 6

Ehemaliger sowjetischer MAC (mg/m³): 6

TLVTN:ACGIH 1mg/m³

TLVWN:ACGIH 3mg/m³

Überwachungsmethode: Kaliumthiocyanid-Titanchlorid-Spektrometrie

Technische Kontrolle: staubfreier Produktionsprozess und vollständige Belüftung.

Schutz der Atemwege: Wenn die Staubkonzentration in der Luft die Norm überschreitet, muss eine selbstansaugende Filterstaubmaske getragen werden. Bei einer Evakuierung im Notfall sollten Sie eine Atemschutzmaske tragen.

Augenschutz: Tragen Sie eine chemische Schutzbrille.

Körperschutz: Tragen Sie Arbeitskleidung gegen Giftdurchdringung.

Handschutz: Gummihandschuhe tragen.

Teil 9: Physikalische und chemische Eigenschaften

Hauptbestandteile: reines Produkt

Optik und Eigenschaften: massiv, metallisch hellweiß

Schmelzpunkt (°C): N/A

Siedepunkt (°C): N/A

Relative Dichte (Wasser=1): 13~18,5 (20°C)

Dampfdichte (Luft=1): Keine Daten

Sättigungsdampfdruck (kPa): Keine Daten

Verbrennungswärme (kJ/mol): Keine Angabe

Kritische Temperatur (°C): Keine Daten

Kritischer Druck (MPa): Keine Daten

Logarithmischer Wert des Wasserverteilungskoeffizienten: Keine Daten

Flammpunkt (°C): Keine Daten

Zündtemperatur (°C): Keine Daten

Explosionsgrenze % (V/V): Keine Daten

Untere Explosionsgrenze % (V/V): Keine Daten

Löslichkeit: löslich in Salpetersäure und Flusssäure

Hauptverwendung: Wird zur Herstellung von Abschirmteilen, Dartschäften aus Wolframlegierungen, Kugeln aus Wolframlegierung usw. verwendet

Teil 10: Stabilität und Reaktivität

Verbotene Inhaltsstoffe: starke Säuren und Laugen.

Teil 11:

Akute Toxizität: keine Daten

LC50: Keine Daten

Teil 12: Ökologische Daten

Zu diesem Teil gibt es keine Daten

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Teil 13: Abfallentsorgung

Abfallentsorgungsmethode: Beziehen Sie sich vor der Entsorgung auf die einschlägigen nationalen und lokalen Vorschriften. Wenn möglich, recyceln.

Teil 14: Versandinformationen

Gefahrgutnummer: Keine Angabe

Verpackungskategorie: Z01

Transportvorkehrungen: Die Verpackung sollte vollständig sein und die Verladung sollte sicher sein. Stellen Sie während des Transports sicher, dass der Behälter nicht undicht wird, zusammenbricht, herunterfällt oder beschädigt wird. Es ist strengstens verboten, Oxidationsmittel, Halogene, essbare Chemikalien usw. zu mischen und zu transportieren. Während des Transports sollte es vor Sonneneinstrahlung, Regen und hohen Temperaturen geschützt werden. Das Fahrzeug sollte nach dem Transport gründlich gereinigt werden.

Teil 15: Regulatorische Informationen

Regulatorische Informationen: Vorschriften über das Sicherheitsmanagement von chemischen Gefahrgütern (vom Staatsrat am 17. Februar 1987 erlassen), Durchführungsbestimmungen zu den Vorschriften über das Sicherheitsmanagement von chemischen Gefahrgütern (Hua Lao Fa [1992] Nr. 677), Vorschriften über die sichere Verwendung von Chemikalien am Arbeitsplatz ([1996] Arbeitsministerium Fa Nr. 423) und andere Vorschriften, die entsprechende Bestimmungen über die sichere Verwendung, Herstellung, Lagerung, Beförderung, Be- und Entladung chemischer Gefahrgüter enthalten. Die Hygienenorm für Wolfram in der Werkstattluft (GB 16229-1996) legt die maximal zulässige Konzentration und das Nachweisverfahren des Stoffes in der Werkstattluft fest.

Teil 16: Lieferanteninformationen

Lieferant: CTIA GROUP LTD

Telefon: 0592-5129696/5129595

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung



Kapitel 5 Verwendungen und Anwendungsrichtlinien von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden

5.1 Überblick über die Hauptanwendungen von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden haben aufgrund ihrer hervorragenden Elektronenemissionsfähigkeit, Lichtbogenstabilität und nicht-radioaktiven Eigenschaften ein breites Anwendungsspektrum in verschiedenen Industriebereichen. Seine Hauptanwendungen umfassen Schweißen, Schneiden, thermisches Spritzen, elektrische Lichtquellen sowie aufstrebende elektrochemische und neue Energiefelder. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Erläuterung der wichtigsten Anwendungsszenarien:

Schweißen: Verbund-Seltenerd-Wolframelektroden sind die Kernmaterialien für das Schutzgasschweißen (WIG-Schweißen), das Plasmaschweißen und andere Prozesse. Durch seine geringe Elektronenfluchtarbeit und seine hohe Lichtbogenstabilität eignet es sich für hochpräzises Schweißen, wie z. B. das Dünnblechschweißen in Luft- und Raumfahrtkomponenten, Kernkraftwerken und im Automobilbau. Elektroden, die Lanthanoxid und Ceroxid enthalten, eignen sich gut für das AC- und DC-Schweißen mit hoher Schweißqualität und geringer Porosität.

Schneiden: Beim Plasmaschneiden werden aufgrund ihrer hohen Temperaturbeständigkeit und Ausbrennfestigkeit häufig Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen verwendet.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Elektroden, die Yttriumoxid und Zirkonoxid enthalten, bleiben unter Hochtemperatur-Plasmalichtbögen stabil, wodurch sie sich zum Schneiden von Edelstahl, Aluminiumlegierungen und Superlegierungen eignen und häufig im Schiffbau und bei Schwermaschinen eingesetzt werden.

Thermisches Spritzen: Kompositelektroden werden im Plasmaspritzverfahren eingesetzt, um verschleißfeste oder korrosionsbeständige Beschichtungen auf die Oberfläche mechanischer Bauteile zu sprühen. Sein hoher Schmelzpunkt und seine Oxidationsbeständigkeit sorgen für Stabilität beim Sprühen und werden in Triebwerksschaufeln, Ölbohrgeräten usw. verwendet.

Elektrische Lichtquelle: Im Bereich der elektrischen Lichtquelle werden Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden als Kathoden oder Filamente für Hochdruck-Gasentladungslampen (wie Xenonlampen und Quecksilberlampen) verwendet. Ihre hervorragenden Elektronenemissionseigenschaften verlängern die Lebensdauer der Lampen und verbessern die Lichtausbeute und werden häufig in Projektionsgeräten und medizinischer Beleuchtung eingesetzt.

Neue Energie und Elektrochemie: Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden werden als Elektrodenmaterialien oder leitfähige Beschichtungen in Lithium-Ionen-Batterien, Brennstoffzellen und Elektrolyseuren verwendet, um die Energiedichte und die Lebensdauer zu verbessern. Darüber hinaus zeichnen sich Anwendungen im Bereich der Elektrokatalyse (z. B. Wasserstoffherzeugung durch Wasserelektrolyse) ab, und die katalytische Aktivität von Seltenerdoxid erhöht die Reaktionseffizienz.

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden profitieren von ihren anpassbaren Seltenerdverhältnissen und optimierten Mikrostrukturen, die es ihnen ermöglichen, die Leistungsanforderungen verschiedener Branchen zu erfüllen. Eine globale Marktanalyse zeigt, dass der jährliche Verbrauch 1.600 Tonnen überschritten hat und in den nächsten fünf Jahren voraussichtlich weiter wachsen wird, insbesondere in den Bereichen grüne Fertigung und Hightech.

5.2 Schweißarten für Seltenerdmetall-Komposit-Wolframelektroden

Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden eignen sich für eine Vielzahl von Schweißarten und ihre Leistungsvorteile sind in verschiedenen Prozessen hervorragend. Im Folgenden sind die wichtigsten Arten und Merkmale des Schweißens aufgeführt:

Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG-Schweißen/GTAW): Das WIG-Schweißen ist das am weitesten verbreitete Gebiet für Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden. Ceroxid-haltige Elektroden wie WC20 weisen beim DCSP-Schweißen (DC positive Polarität) hervorragende Lichtbogeneigenschaften auf und eignen sich daher für Edelstahl, Kohlenstoffstahl und Nickellegierungen. Elektroden, die Lanthanoxid enthalten, wie z. B. WL20, haben eine hohe Lichtbogenstabilität beim Wechselstromschweißen (AC) und sind für Aluminium- und Magnesiumlegierungen geeignet, wodurch die Lichtbogendrift reduziert und glatte Schweißnähte hergestellt werden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Plasmaschweißen (PAW): Beim Plasmaschweißen muss die Elektrode bei hohen Temperaturen und Strömen stabil bleiben. Kompositelektroden mit Yttriumoxid und Zirkonoxid wie WLaCeY eignen sich aufgrund ihrer Durchbrandfestigkeit und langen Lebensdauer für hochpräzises Plasmaschweißen, wie sie beispielsweise von dünnwandigen Strukturen in der Luft- und Raumfahrt verwendet werden. Die Elektrodenspitze hat eine geringe Verschleißrate bei Hochtemperatur-Plasmalichtbögen und eine Lebensdauer von 500 bis 800 Stunden.

Metall-Inertgas-Schutzgasschweißen (MIG-Schweißen) Unterstützt: Beim MIG-Schweißen werden Verbund-Seltenerd-Wolframelektroden gelegentlich als Hilfselektroden zur Stabilisierung von Lichtbogen oder zum Schweißen von Spezialmaterialien verwendet. Sein hoher Wirkungsgrad bei der Elektronenemission reduziert die Anlaufspannung des Lichtbogens und eignet sich daher für automatisierte Produktionslinien.

Unterstützung beim Widerstandspunktschweißen: Bei bestimmten hochpräzisen Punktschweißverfahren dient die Kompositelektrode als Elektrodenkopf, sorgt für eine stabile Stromübertragung und reduziert Spritzer, wodurch sie für die Herstellung elektronischer Komponenten geeignet ist.

Spezielle Schweißverfahren: Wie das Mikrostrahl-Plasmaschweißen und das Laser-WIG-Verbundschweißen verbessert die Kompositelektrode die Schweißqualität durch Optimierung der Lichtbogenkonzentration. Elektroden, die Lanthanoxid und Ceroxid enthalten, haben Lichtbogen Spannungen von bis zu 25 V beim Mikroschweißen und sind für das Schweißen von dünnen Blechen (< 0,5 mm) geeignet.

Unterschiedliche Schweißarten stellen unterschiedliche Leistungsanforderungen an Elektroden, und Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden erfüllen unterschiedliche Anforderungen, indem sie das Seltenerdverhältnis anpassen (z. B. Ceroxid: Lanthanoxid = 1:1). Experimente zeigen, dass die Lichtbogenstabilität beim WIG-Schweißen mehr als 95 % beträgt und die Genauigkeit der Eindringtiefersteuerung um 20 % erhöht wird, was deutlich besser ist als die von reinen Wolframelektroden.

5.3 Industrielle Anwendungsfälle von Seltenerd-Verbundelektroden aus Seltenerd-Wolfram

Seltenerd-Verbundelektroden aus Verbundwerkstoffen haben in verschiedenen Branchen einen erheblichen Anwendungswert bewiesen, darunter in den folgenden spezifischen Fällen:

Luft- und Raumfahrt: Im Flugzeugbau werden Lanthanoxid- und Yttriumoxid-haltige Elektroden wie WLaCeY für das WIG-Schweißen von Titanlegierungen und Superlegierungen eingesetzt. Bei einem Projekt zum Schweißen von Triebwerksschaufeln werden beispielsweise WL20-Elektroden mit einem Strom von 150 bis 200 A, einer Schweißzugfestigkeit von 900 MPa und einer Porosität von weniger als 0,1 % verwendet, die strenge Luftfahrtstandards erfüllen.

Automobilbau: Kompositelektroden werden häufig beim Schweißen von Batteriekomponenten für Elektrofahrzeuge verwendet. Die Ceroxid-haltige Elektrode (WC20) wird für das WIG-Schweißen von Batteriegehäusen aus Aluminiumlegierungen mit einem Strom von 50 bis 100 A, einer glatten

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Schweißoberfläche und einer um 10 % längeren Lebensdauer verwendet. Ein Automobilhersteller verbesserte die Schweißeffizienz um 15 % und senkte die Produktionskosten um 8 % durch den Einsatz von Kompositelektroden.

Kernkraftindustrie: Das Schweißen von Druckbehältern für Kernreaktoren erfordert eine hohe Korrosionsbeständigkeit und eine lange Lebensdauer. Die Kompositelektrode mit Zirkonoxid hat sich beim Plasmaschweißen gut bewährt und Schweißen von Rohren aus Edelstahl 304 mit einer Eindringtiefe von 3 bis 5 mm, ohne Risse in der Schweißnaht und mit einer um 20 % erhöhten Korrosionsbeständigkeit ermöglicht.

Schiffbau: Beim Plasmaschneiden werden Yttriumoxid-haltige Elektroden zum Schneiden von hochfesten Stahlblechen mit einer Schnittgeschwindigkeit von bis zu 1 m/min eingesetzt, wodurch die Lebensdauer der Elektroden um 30 % verlängert und die Austauschhäufigkeit reduziert wird. Eine Werft verwendet WLaCeY-Elektroden, die die Schnittgenauigkeit um 10 % verbessern und den Materialabfall reduzieren.

Elektronikindustrie: Im Bau von Halbleiteranlagen werden Kompositelektroden zum Mikrostrahl-Plasmalöten verwendet, um Kupfer- und Aluminiumkomponenten zu verbinden. Die Elektrode mit Ceroxid ist bei niedrigem Strom (<30 A) lichtbogenstabil, und der Lötstellendurchmesser wird auf 0,1 mm genau geregelt, um die Anforderungen des Chip-Packagings zu erfüllen.

Neues Energiefeld: Kompositelektroden werden als leitfähige Beschichtungssubstrate bei der Herstellung von Lithiumbatterieelektroden eingesetzt, und Elektroden, die Lanthanoxid enthalten, verbessern die Lebensdauer der Batterie um mehr als das 5.000-fache. Ein Photovoltaikunternehmen verwendet Kompositelektroden zum Schneiden von Siliziumwafern mit einer Oberflächenrauheit von $Ra < 0,5$ Mikrometern, um den Wirkungsgrad der Module zu verbessern.

Diese Fälle zeigen, dass Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen die Anforderungen der Industrie durch kundenspezifische Leistung erfüllen und die Entwicklung einer hochpräzisen Fertigung vorantreiben.

5.4 Empfohlene Schweißprozessparameter von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Die Auswahl der Schweißprozessparameter wirkt sich direkt auf die Leistung und Schweißqualität von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden aus. Im Folgenden sind die empfohlenen Parameter für das WIG- und Plasmaschweißen aufgeführt, die verschiedene Materialien und Elektrodentypen abdecken:

Parameter des WIG-Schweißens:

Elektrodentyp: WL20 (2 % Lanthanoxid), WC20 (2 % Ceroxid), WLaCeY (ternäres Komposit)

Aktueller Typ:

DC positive Polarität (DCSP): geeignet für Edelstahl, Kohlenstoffstahl und Ströme von 50 bis 250 A

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Wechselstrom (AC): Geeignet für Aluminium- und Magnesiumlegierungen, Ströme von 60 bis 200 A und Frequenzen von 70 bis 150 Hz

Elektroden Durchmesser: 1,6 bis 4,0 mm (1,6 bis 2,4 mm für dünne Platten, 3,2 bis 4,0 mm für dicke Platten)

Spitzenwinkel: 30 bis 60° (Präzisionsschweißen 30°, Hochstrom 60°)

Schutzgas: Argon (99,99 % Reinheit), Durchfluss 8 bis 15 L/min

Anlaufspannung des Lichtbogens: 25 bis 35 V

Schweißgeschwindigkeit: 0,1 bis 0,5 m/min

Länge der Elektrodenverlängerung: 3 bis 6 mm

Parameter des Plasmaschweißens:

Elektrodentyp: WLaCeY, WY20 (2% Yttriumoxid)

Stromart: DC positive Polarität, Strom von 80 bis 300 A

Elektroden Durchmesser: 2,4 bis 4,8 mm

Spitzenwinkel: 45 bis 60°

Plasmagas: Argon, Durchflussmenge 0,5 bis 2 l/min

Schutzgas: Argon + 5% Wasserstoff, Durchfluss 10 bis 20 L/min

Anlaufspannung des Lichtbogens: 30 bis 40 V

Schweißgeschwindigkeit: 0,2 bis 0,8 m/min

Materielle Anpassung:

Edelstahl: WL20, Strom 100 bis 200 A, Argon-Durchfluss 10 L/min, Spitzenwinkel 45°

Aluminiumlegierung: WC20, Wechselstrom 80 bis 150 A, Frequenz 100 Hz, Argon-Durchfluss 12 L/min

Titanlegierung: WLaCeY, Strom 120 bis 180 A, Spitzenwinkel 30°, Argon + Helium-Gemisch (1:1)

Optimierungsvorschlag: Die Parameter sollten entsprechend der Dicke des Werkstücks und der Schweißausrüstung angepasst werden. Niedrige Ströme und scharfe Elektrodenspitzen passen in dünne Platten, wodurch Wärmeeinflusszonen reduziert werden. Der hohe Strom und der große Spitzenwinkel eignen sich für dicke Bleche und verbessern die Eindringtiefe. Die Echtzeitüberwachung von Lichtbogenspannungs- und Stromschwankungen sorgt für Stabilität.

5.5 Vorsichtsmaßnahmen für die Verwendung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Die richtige Verwendung von Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen maximiert ihre Leistung und verlängert ihre Lebensdauer. Hier sind einige wichtige Überlegungen:

Elektrodenauswahl: Wählen Sie das Modell entsprechend dem Schweißmaterial und -verfahren aus, z. B. eignet sich WL20 für das AC-Schweißen von Aluminiumlegierungen, WC20 für das Niedrigstromschweißen von Edelstahl und WLaCeY für das Schweißen von Titanlegierungen mit hoher Belastung.

Schleifen der Spitze: Die Spitze der Elektrode sollte in einem geeigneten Winkel (30 bis 60°) mit

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

einer speziellen Diamantschleifscheibe geschliffen werden, um Verunreinigungen zu vermeiden. Die Schleifrichtung verläuft entlang der axialen Richtung der Elektrode und die Oberflächenrauheit $Ra < 0,2 \mu\text{m}$. Das AC-Schweißen muss zu einer halbkugelförmigen Spitze geschliffen werden, um das Durchbrennen zu reduzieren.

Schutzgas: Verwendung von hochreinem Argon oder Argon + Helium-Gemisch, Durchflussmenge 8 bis 20 L/min. Überprüfen Sie die Dichtheit von Gasleitungen, um eine Verunreinigung durch Sauerstoff oder Wasserdampf zu vermeiden.

Lagerung und Transport: Die Elektroden werden in einer trockenen, belüfteten Umgebung (Temperatur 10 bis 25 °C, Luftfeuchtigkeit <60 %) in einer feuchtigkeitsbeständigen Verpackung gelagert. Der Transport vermeidet starke Vibrationen und verhindert Elektrodenverbiegungen oder Oberflächenbeschädigungen.

Betriebsspezifikationen: Überprüfen Sie die Elektrodenoberfläche vor dem Schweißen, um sicherzustellen, dass keine Ölflecken oder Oxide vorhanden sind. Vermeiden Sie den Kontakt der Elektrode mit dem Schmelzbad, um eine Kontamination zu vermeiden. Halten Sie die Elektrode während des Schweißens 3 bis 6 mm ausgefahren, um eine Überhitzung zu vermeiden.

Sicherheitsschutz: Tragen Sie eine Schutzbrille und Handschuhe, um Lichtbogenstrahlung und das Einatmen von Staub zu vermeiden. Achten Sie darauf, dass der Schweißbereich gut belüftet und mit einer Staubabsaugung ausgestattet ist.

Regelmäßige Inspektion: Überprüfen Sie alle 50 Stunden den Zustand der Elektrodenspitze, schleifen Sie sie nach oder tauschen Sie sie aus. Notieren Sie die Einsatzzeit, um zu verhindern, dass übermäßiger Verschleiß die Schweißqualität beeinträchtigt.

Das Befolgen dieser Überlegungen gewährleistet eine stabile Elektrodenleistung und reduziert die Ausfallraten.

5.6 Lösung häufiger Probleme mit Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Die Probleme und Lösungen, die bei der Verwendung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden auftreten können, sind wie folgt:

Problem 1: Instabilität des Lichtbogens

Ursache: Verschmutzung der Elektrodenspitze, unzureichendes Schutzgas oder Stromschwankungen.

Lösung: Reinigen Sie die Elektrodenoberfläche, überprüfen Sie den Gasdurchfluss (8 bis 15 l/min) und stabilisieren Sie die Ausgangsleistung. Schleifen Sie die Spitze auf 45° nach.

Problem 2: Die Elektrode brennt schnell durch

Ursache: Übermäßiger Strom, falscher Spitzenwinkel oder Gasverschmutzung.

Lösung: Reduzieren Sie den Strom auf den empfohlenen Bereich (z. B. 100 bis 200 A), stellen Sie

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

den Spitzenwinkel auf 60° ein und verwenden Sie hochreines Argon.

Problem 3: Es gibt viele Poren in der Schweißnaht

Ursache: Elektrodenverunreinigungen oder Sauerstoff im Schutzgas.

Lösung: Ultraschallreinigung der Elektrode, Überprüfung der Reinheit des Gases (>99,99%), Erhöhung der Durchflussrate auf 12 l/min.

Problem 4: Schwierigkeiten bei der Lichtbogenbildung

Ursache: Unsachgemäßes Schleifen der Spitze oder Alterung der Elektrode.

Lösung: Spitze auf 30° nachschleifen, Lebensdauer der Elektrode prüfen, ggf. ersetzen.

Problem 5: Elektrodenbruch

Ursache: Mechanische Beanspruchung oder innere Defekte.

Lösung: Prüfen Sie die Elektrodenklemmkraft (<100 N) und bestätigen Sie durch Ultraschallprüfung, dass keine inneren Risse vorhanden sind.

Die Problemlösung erfordert die Aufzeichnung von Fehlerdaten, um Prozessparameter auf der Grundlage der tatsächlichen Arbeitsbedingungen zu optimieren.

5.7 Anwendungen von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden in aufstrebenden Bereichen

Die Anwendung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden in aufstrebenden Bereichen nimmt rasant zu, insbesondere in den folgenden Bereichen:

3D-Druck: Beim Metall-3D-Druck werden Kompositelektroden für die Plasma-Lichtbogenabscheidung (PAAM) verwendet, um einen stabilen Hochtemperaturlichtbogen bereitzustellen und hochfeste Legierungsteile zu drucken. Die Elektrode mit Lanthanoxid hat eine Lichtbogenstabilität von 95 % und eine um 15 % verbesserte Druckgenauigkeit beim Drucken von Titanlegierungen.

Unterstützung beim Laserschweißen: Beim Laser-WIG-Verbundschweißen stabilisiert die Kompositelektrode den Lichtbogen und verbessert die Absorption der Laserenergie. Elektroden, die Ceroxid enthalten, haben beim Laserschweißen von Edelstahl eine um 20 % höhere Einschweißtiefe und eignen sich damit für leichte Automobilkomponenten.

Batterien für neue Energien: Kompositelektroden dienen als leitfähige Substrate für Lithiumbatterien und Festkörperbatterien, und Elektroden, die Yttriumoxid enthalten, verbessern die Lebensdauer der Batterie um das 6.000-fache. Ein Batteriehersteller verwendet WLaCeY-Elektroden, und die Leitfähigkeit der Elektroden wird um 10 % erhöht.

Elektrokatalyse: Bei der Wasserstoffherstellung in der Wasserelektrolyse fungiert die Kompositelektrode als elektrokatalytische Kathode, und die katalytische Aktivität von Seltenerdoxid reduziert das Überspannungsverhältnis um 20 %. Die Elektrode, die Ceroxid enthält, hat eine Stromdichte von 100 mA/cm² in einem sauren Elektrolyten.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Mikro-Nano-Fertigung: Beim Mikrostrahl-Plasmalöten werden Elektroden, die Lanthanoxid enthalten, in Chip-Packaging verwendet, und der Durchmesser der Lötstellen wird auf 50 Mikrometer genau gesteuert, um den Anforderungen von 5G-Geräten gerecht zu werden.

Diese neuen Anwendungen treiben die Forschung und Entwicklung von Kompositelektroden voran, die bis 2030 voraussichtlich mehr als 30 % des Marktanteils in neuen Bereichen ausmachen werden.

5.8 Wirtschaftliche Nutzenanalyse von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Die wirtschaftlichen Vorteile von Seltenerd-Verbundelektroden aus Verbundwerkstoffen spiegeln sich in einer verbesserten Produktionseffizienz, Kosteneinsparungen und einer verbesserten Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt wider.

Produktionseffizienz: Die Kompositelektrode hat eine Lebensdauer von 500 bis 1000 Stunden, was 2- bis 3-mal höher ist als die von reinen Wolframelektroden (200 bis 300 Stunden), und die Austauschhäufigkeit wird um 20 % reduziert. Beim WIG-Schweißen wird die Lichtbogenstabilität um 15 % erhöht, die Schweißgeschwindigkeit um 10 % erhöht und die Produktionseffizienz deutlich verbessert.

Kosteneinsparungen: Die Anschaffungskosten von Kompositelektroden sind höher als die von reinen Wolframelektroden (ca. 20 % höher), aber die verlängerte Lebensdauer reduziert die Gesamtnutzungskosten um 30 %. In einem Automobilwerk werden WL20-Elektroden verwendet, wodurch jährlich etwa 100.000 US-Dollar an Wartungskosten eingespart werden. Die Rückgewinnungsrate von Altelektroden erreicht 85 % und senkt die Ressourcenkosten weiter.

Wettbewerbsfähigkeit auf dem Markt: Die Nicht-Radioaktivität von Kompositelektroden entspricht den REACH- und RoHS-Vorschriften und ermöglicht somit einen barrierefreien Zugang zum europäischen und amerikanischen Markt. Laut der globalen Marktanalyse wächst die Nachfrage mit einer jährlichen Rate von 5,8 %, und es wird erwartet, dass die Marktgröße bis 2025 1,2 Milliarden US-Dollar erreichen wird.

Fallstudie: Ein Luftfahrtunternehmen verwendete WLaCeY-Elektroden zum Schweißen von Titanlegierungen, und die Schweißdurchgangsrate stieg von 90 % auf 98 %, und die Nacharbeitskosten wurden um 50 % gesenkt. Bei der Herstellung von Batterien für neue Energien verbessern Kompositelektroden die Batterieleistung und erhöhen die Wertschöpfung der Produkte um 15 %.

Insgesamt bringen Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen erhebliche wirtschaftliche Vorteile für Unternehmen und fördern die Aufrüstung der Branche durch Leistungsoptimierung und umweltfreundliche Eigenschaften.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung



Kapitel 6 Produktionsanlagen für Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden

6.1 Anlagen zur Verarbeitung von Rohstoffen für Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Rohstoffverarbeitungsanlagen werden für die Rohstoffaufbereitung und das Verhältnis von Verbund-Seltenerd-Wolframelektroden verwendet, um eine hohe Reinheit und gleichmäßige Mischung von Wolfram-basierten Materialien und Seltenerdoxid zu gewährleisten. Im Folgenden sind die wichtigsten Geräte und ihre Funktionen aufgeführt:

Hochpräzise elektronische Waagen: zum genauen Wiegen von Wolframtrioxid (WO_3) oder Ammoniumparawolframat (APT) sowie Seltenerdnitrat (z.B. Lanthannitrat, Cernitrat). Mit einer Genauigkeit von 0,001 g und einem Messbereich von 0,1 bis 10 kg ist er mit einem Antivibrationstisch und einer elektrostatischen Abschirmung ausgestattet, um ein genaues Wiegen zu gewährleisten.

Lösungsaufbereitungssystem: für die Herstellung von Seltenerdnitratlösungen, einschließlich Rührbehälter aus Edelstahl (Fassungsvermögen 50 bis 500 l), pH-Meter (Genauigkeit $\pm 0,01$) und thermostatischem Wasserbad (Temperaturregelung 40 bis 80 °C). Eine Rührgeschwindigkeit von 200 bis 500 U/min sorgt für eine gleichmäßige Lösung. Das System sollte mit einem Generator für deionisiertes Wasser mit einer Reinheit $> 18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ ausgestattet sein.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Sprühtrockner: Mischen Sie die Seltenerd-nitratlösung mit Wolframpulver und trocknen Sie es, um dotiertes Pulver herzustellen. Anlagenparameter: Einlasslufttemperatur 150 bis 250°C, Sprühleistung 0,5 bis 2 L/min, Trockenkammervakuum 10^{-1} Pa.

Vibrierende Siebmaschine: wird zum Sieben von getrocknetem Pulver und zum Entfernen von agglomerierten Partikeln verwendet. Das Sieb hat ein Sieb von 200 bis 400 Mesh, eine Vibrationsfrequenz von 1000 bis 2000 Mal/min und eine Verarbeitungskapazität von 100 bis 500 kg/h. Ausgestattet mit Staubschutzhaube und elektrostatischer Erdung, um Staubverschmutzung zu verhindern.

Ausrüstung für die Qualitätskontrolle: einschließlich Röntgenfluoreszenzspektrometer (RFA, Nachweis des Verunreinigungsgehalts $<0,01$ %) und Laser-Partikelgrößenanalysator (Bestimmung von D50 in 1 bis 5 Mikrometern). Diese Geräte stellen sicher, dass die Reinheit der Rohstoffe und die Partikelverteilung den Anforderungen entsprechen.

Merkmale und Wartung: Die Ausrüstung zur Verarbeitung von Rohstoffen muss korrosionsbeständig sein (Edelstahl oder Titanlegierung), und der Mischbehälter und die Düse sollten regelmäßig gereinigt werden, um Kreuzkontaminationen zu vermeiden. Die Wartung umfasst die Kalibrierung der Waage (einmal im Monat) und die Überprüfung des thermischen Wirkungsgrads des Sprühtrockners (einmal im Quartal).

Die hohe Präzision und Sauberkeit der Rohstoffhandhabungsgeräte liefern hochwertiges Pulver für nachfolgende Prozesse und legen damit den Grundstein für die Leistungsfähigkeit.

6.2 Reduktions- und Dotierungsanlagen für Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Die Reduktions- und Dotierungsanlage wird verwendet, um Wolframtrioxid in hochreines Wolframpulver umzuwandeln und die Dotierung von Seltenerd-oxiden abzuschließen, wobei ein Wasserstoffreduktionsofen und ein Dotierungssystem das Herzstück bilden.

Rohrförmiger Wasserstoff-Reduktionsofen: Bei der zweistufigen Reduktion erzeugt die erste Stufe (500 bis 600 °C) WO_2 und die zweite Stufe (800 bis 950 °C) Wolframpulver. Der Ofenkörper besteht aus hochwarmem Edelstahl oder einer Molybdänlegierung mit einer Länge von 2 bis 5 Metern und einem Innendurchmesser von 0,5 bis 1 Meter. Wasserstoffdurchfluss 0,5 bis 1,5 m^3/h , Reinheit 99,99 %. Ausgestattet mit einem Infrarot-Thermometer (Genauigkeit $\pm 2^\circ C$) und einem Gasanalysator (Sauerstoffgehalt $<0,01\%$).

Glockenreduktionsofen: Geeignet für die Großserienproduktion mit einer Kapazität von 100 bis 1000 kg/Charge, einer Temperaturregelung von 500 bis 1000 °C und einem Vakuum von 10^{-2} Pa. Ausgestattet mit einem Mehrpunkt-Temperaturmesssystem, um eine Temperaturgleichmäßigkeit ± 5 °C zu gewährleisten. Wasserstoffkreislaufsysteme gewinnen nicht umgesetzte Gase zurück und senken so die Kosten.

Dopingausrüstung: Die Planetenmühle wird zum mechanischen Legieren, Raffinieren des Pulvers

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

und zum gleichmäßigen Dotieren von Seltenerdoxid verwendet. Parameter: 400 bis 600 U/min, Pelletierverhältnis 8:1, Schleifzeit 8 bis 12 Stunden. Der Kugelmühlentank und das Medium sind aus Hartmetall, um eine Kontamination zu vermeiden.

Zusatzausrüstung: einschließlich Gasreinigungssystem (Entfernung von Wasserdampf und Verunreinigungen) und Abgasbehandlungseinheit (katalytische Verbrennung von Wasserstoffabgasen). Laser-Partikelgrößenanalytoren und REM werden zur Detektion der Pulverpartikelgröße (1 bis 5 Mikrometer) und der Topographie eingesetzt.

Wartung und Sicherheit: Prüfen Sie regelmäßig die Dichtheit des Ofens (einmal im Monat), kalibrieren Sie das Temperaturmesssystem (einmal im Quartal). Die Wasserstoffanlage sollte mit Leckanzeigern und explosionsgeschützten Lüftungseinrichtungen ausgestattet sein, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. Der effiziente Betrieb der Reduktions- und Dotierungsanlage sichert die Pulverqualität und legt den Grundstein für die anschließende Formgebung.

6.3 Umformanlagen für Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Die Umformanlage presst das dotierte Wolframpulver in einen Rohling und sorgt so für eine gleichmäßige Dichte und strukturelle Stabilität. Im Folgenden sind die Hauptausrüstungen aufgeführt:

Kaltisostatische Presse (CIP): Übt einen gleichmäßigen Druck (100 bis 300 MPa) durch ein flüssiges Medium aus, um die Körperdichte auf bis zu 60 % bis 70 % theoretische Dichte zu drücken. Das Gerät hat ein Fassungsvermögen von 50 bis 500 l und ist mit einer Hochdruckpumpe und einem Drucksensor mit einer Genauigkeit $\pm 0,5$ MPa ausgestattet.

Hydraulische Formmaschine: Verwendet eine starre Stahlform mit einem Druck von 150 bis 200 MPa, die für die Kleinserienproduktion geeignet ist. Die Presszeit beträgt 5 bis 10 Minuten, ausgestattet mit einem automatischen Zuführsystem, und der Durchsatz beträgt 50 bis 200 kg/h.

Schlammungsformmaschine: Wird für Elektroden mit komplexer Form verwendet, indem Pulver mit Bindemittel (0,5 % bis 1 % Polyvinylalkohol) in eine Aufschlammung gemischt und zum Aushärten in die Form eingespritzt wird. Das Gerät besteht aus einer Präzisionspritzenpumpe (Durchflussgenauigkeit $\pm 0,1$ mL/min) und einem Vakuum-Entgasungssystem. Die Temperatur der Trockenkammer wird auf 25 bis 80 °C geregelt, um thermische Belastungen zu vermeiden.

Qualitätskontrollgeräte: Ultraschalldetektor prüft den Körper auf innere Defekte (Auflösung 0,1 mm), Archimedes Dichtemessgerät misst die Dichte (Genauigkeit $\pm 0,01$ g/cm³). Das visuelle Inspektionssystem sorgt dafür, dass die Maßabweichung des Körpers 0,1 mm <.

Wartung und Optimierung: Reinigen Sie das Werkzeug regelmäßig (einmal pro Woche), kalibrieren Sie den Drucksensor (einmal im Monat). Optimieren Sie die Umformparameter durch Finite-Elemente-Simulation, um den Dichtegradienten zu reduzieren. Die hohe Präzision der Umformanlagen sichert die Qualität des Körpers und bietet eine zuverlässige Grundlage für das

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Sintern.

6.4 Sinteranlagen für Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Sintergeräte werden verwendet, um den Körper zu verdichten, um ein Elektrodenmaterial mit hoher Dichte und hoher Festigkeit zu bilden. Im Folgenden sind die Hauptausrüstungen aufgeführt:

Vakuum-Heißpress-Sinterofen: gesintert bei 1600 bis 1800 °C, 50 bis 80 MPa, Vakuumgrad 10^{-3} Pa. Der Ofenkörper besteht aus einem Graphitheizkörper, der mit einem Infrarot-Thermometer (Genauigkeit ± 2 °C) und einer Vakuumpumpe ausgestattet ist. Die Heizrate wird abschnittsweise geregelt (10 °C/min bis 1000 °C, 4 °C/min bis zur Zieltemperatur) und 60 bis 90 Minuten lang warm gehalten.

Spark-Plasma-Sinterofen (SPS): Schnelles Aufheizen (100 bis 200 °C/min) mit gepulstem Strom, Sintertemperatur 1400 bis 1600 °C, Druck 30 bis 50 MPa, Haltetemperatur für 5 bis 10 Minuten. Es eignet sich für Nanopulver und reduziert die Verflüchtigung von Seltenen Erden. Ausgestattet mit einem hochpräzisen Stromregler (1000 bis 2000 A).

Vertikaler Sinterofen: 90% Schmelzstrom, Temperatur über 3000°C, Atmosphäre ist Argon oder Wasserstoff. Geeignet für Elektroden mit großem Durchmesser, ausgestattet mit einem wassergekühlten Elektrodenklemmsystem und einem Stromwächter.

Zusatzausrüstung: Vorsinterofen (1200°C, Vakuum oder Wasserstoffatmosphäre) zur Entfernung von Bindemitteln, ausgestattet mit einem Gaszirkulationssystem. REM und XRD analysierten die nachgesinterte Mikrostruktur, um die Korngröße (5 bis 10 μm) und die Verteilung der Seltenen Erden zu bestätigen.

Wartung und Sicherheit: Überprüfen Sie regelmäßig die Vakuumpumpe (einmal im Monat), kalibrieren Sie das Temperaturmesssystem (einmal im Quartal). Der Sinterofen sollte mit einem Kühlwasserkreislaufsystem ausgestattet sein, um eine Überhitzung zu vermeiden. Die Schnellsinterfunktion der SPS-Geräte erhöht den Wirkungsgrad um 30 % und senkt den Energieverbrauch um 20 %.

6.5 Verarbeitungsanlagen für Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Die Verarbeitungsanlage verarbeitet den Sinterkörper zu Elektrodenstäben, um die Dichte und Oberflächenqualität zu verbessern. Zur Hauptausrüstung gehören:

Rotationsschmiedemaschine: Der Durchmesser des Körpers (20 bis 3 mm) wird durch das Bohren reduziert, und die Verformungsrate beträgt 20 % bis 30 % pro Durchgang. Die Verarbeitungstemperatur beträgt 800 bis 1200 °C und ist mit einem automatischen Zuführsystem und einem Infrarot-Thermometer ausgestattet.

Ziehmaschine: Strecken der Stange mit Hilfe einer Hartmetallmatrize, um den Durchmesser auf 0,5 bis 10 mm zu reduzieren. Auszugsgeschwindigkeit 0,5 bis 2 m/min und geschmiert mit

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Graphitemulsion (Reibungskoeffizient $< 0,1$). Kettenziehmaschine für kontinuierliche Produktion.

Richt- und Trennmaschinen: Walzenrichtmaschinen sorgen für eine Geradheitsabweichung von $< 0,1$ mm/m, Laser-Abstellmaschinen steuern Längen von 150 bis 175 mm (Toleranz $\pm 0,5$ mm). Ausgestattet mit einem optischen Inspektionssystem zur Überwachung der Oberflächenqualität.

Ausrüstung für die Qualitätskontrolle: Oberflächenrauheitsmessgerät ($Ra < 0,5$ Mikron) und Ultraschall-Fehlerdetektor zur Erkennung interner Fehler. Die Maßmessung erfolgt mit einem Laser-Entfernungsmesser (Genauigkeit $\pm 0,01$ mm).

Wartung und Optimierung: Wechseln Sie die Form regelmäßig (alle 1000 Stunden), überprüfen Sie das Schmiersystem (einmal pro Woche). Die Finite-Elemente-Simulation optimiert die Verformungsparameter und die Ausbeute erreicht mehr als 98 %. Automatisierte Verarbeitungsanlagen verbessern die Effizienz um 30 %.

6.6 Oberflächenbehandlungsanlagen für Seltenerd-Komposit-Wolframelektroden

Oberflächenbehandlungsgeräte werden zum Polieren, Reinigen und Beschichten verwendet, um die Korrosionsbeständigkeit der Elektroden und die Elektronenemissionsleistung zu verbessern.

Mechanische Poliermaschine: Verwendung von Aluminiumoxid-Schleifmitteln (2000 Mesh), Polieren von Elektroden auf eine Rauheit von $Ra < 0,2$ Mikrometern. Ausgestattet mit einem mehrachsigen Polierkopf mit einer Verarbeitungskapazität von 100 bis 500 Stück/Stunde.

Elektrochemische Poliermaschine: Polieren in einer Mischlösung aus Schwefelsäure und Phosphorsäure, Stromdichte 0,5 bis 1 A/cm², Behandlungszeit 5 bis 10 Minuten. Ausgestattet mit Konstantstromversorgung und Abfallflüssigkeitsrückgewinnungssystem.

Ultraschallreiniger: Es wird eine alkalische Lösung (pH 8 bis 10) mit einer Frequenz von 40 kHz, einer Temperatur von 50 bis 60 °C und einer Reinigungszeit von 5 bis 10 Minuten verwendet. Ausgestattet mit einem Spültank für entionisiertes Wasser und einem Heißlufttrocknungssystem.

Ausrüstung für die chemische Gasphasenabscheidung (CVD): Seltenerdoxide oder keramische Beschichtungen (z. B. La₂O₃, ZrO₂) werden aufgetragen, die Temperaturen betragen 800 bis 1000 °C, das Vakuum beträgt 10⁻² Pa und die Abscheidungsrate beträgt 0,1 µm/min.

Wartung und Umweltschutz: Reinigen Sie die Polierscheiben und Waschtanks regelmäßig (einmal pro Woche), kalibrieren Sie die Stromdichte (einmal im Monat). Wasserbasierte Reinigungsmittel reduzieren die VOC-Emissionen, und die Abfallflüssigkeit gewinnt durch Ionenaustausch Seltene Erden zurück, mit einer Rückgewinnungsrate von 90 %.

6.7 Hilfseinrichtungen für Seltenerd-Komposit-Wolframelektroden

Zusatzgeräte unterstützen reibungslose Produktionsprozesse und Qualitätskontrollen, darunter:

Vakuumtrockenschrank: für die Pulver- und Körpertrocknung, Temperatur 80 bis 150 °C,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Vakuumgrad 10^{-1} Pa. Empfohlenes Modell: Deutscher Binder-Trockenschrank.

Gasreinigungssystem: Entfernt Wasserdampf und Verunreinigungen aus Wasserstoff mit einer Reinheit von 99,999 %. Ausgestattet mit Molekularsieb und Kondensator, Durchsatz von 1 bis 5 m^3/h .

Abgasnachbehandlungsanlage: katalytische Verbrennung von Wasserstoffabgasen, ausgestattet mit Abgasanalysator (Emission entspricht den Umweltnormen).

Ausrüstung für die Qualitätsprüfung: einschließlich Röntgendiffraktometer (XRD, zur Analyse der Kristallstruktur), Rasterelektronenmikroskop (REM) zur Beobachtung der mikroskopischen Morphologie und Elektronenaustrittstester (Genauigkeit $\pm 0,01$ eV).

Datenmanagementsystem: Integrieren Sie Sensoren und SPS, um Prozessparameter in Echtzeit aufzuzeichnen und Qualitätsberichte zu erstellen.

Zusatzgeräte gewährleisten die Kontinuität der Produktion und die Rückverfolgbarkeit der Qualität und reduzieren die Fehlerquote.

6.8 Auswahl- und Wartungsrichtlinien für Verbundgeräte für Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen

Auswahlhilfe:

Rohstoffhandling: Wählen Sie hochpräzise Waagen (0,001 g) und Sprühtrockner (Partikelgröße 1 bis 5 Mikrometer) für die Massenproduktion.

Reduktion und Dotierung: Rohrreduktionsöfen eignen sich für kleine und mittlere Chargen, Glockenöfen eignen sich für große Chargen und die Sternmühle sorgt für eine gleichmäßige Dotierung.

Umformen: Die kaltsostatische Presse eignet sich für hochpräzise Rohlinge, die Formmaschine für kleine Chargen und die Schlammformmaschine für komplexe Formen.

Sintern: SPS-Öfen eignen sich für Nanopulver, Heißpressöfen für die reguläre Produktion und vertikale Öfen für Elektroden mit großem Durchmesser.

Verarbeitung und Oberflächenbehandlung: Rotationsschmiedemaschinen und Ziehmaschinen müssen hochgradig automatisiert sein, und CVD-Anlagen verbessern die Beschichtungsleistung.

Richtlinien zur Wartung:

Regelmäßige Wartung: Überprüfen Sie monatlich die Dichtheit der Geräte und die Sensorgenauigkeit, kalibrieren Sie das Temperaturremesssystem vierteljährlich und ersetzen Sie verschlissene Teile (wie Formen, Polierscheiben) alle sechs Monate.

Vorbeugende Wartung: Verwenden Sie Schwingungsanalysatoren, um den Betriebszustand von Geräten zu erkennen und Ausfälle zu vermeiden. Das Schmiersystem wird wöchentlich überprüft, um einen Reibungskoeffizienten von $< 0,1$ aufrechtzuerhalten.

Protokollierung und Optimierung: Erstellen Sie Wartungsprotokolle, um Ausfälle und Reparaturzeiten aufzuzeichnen. Kombiniert mit KI zur Analyse von Betriebsdaten von Geräten, zur

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Optimierung von Wartungszyklen und zur Verlängerung der Lebensdauer von Geräten um 20 %.

6.9 Design und Integration einer automatischen Produktionslinie für Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden

Automatisierte Produktionslinien integrieren verschiedene Prozesse, um die Effizienz und Konsistenz zu verbessern. Die Entwurfs- und Integrationspunkte lauten wie folgt:

Layout der Produktionslinie:

Bereich der Rohstoffverarbeitung: elektronische Waage, Lösungsvorbereitungssystem, Sprühtrockner mit einer Fläche von 50 m².

Reduktions- und Dotierungsbereich: Rohrreduktionsofen, Planetenmühle, ausgestattet mit Gaszirkulationssystem, mit einer Fläche von 100 m².

Form- und Sinterbereich: Kaltisostatische Presse, SPS-Ofen, mit einer Fläche von 80 m².

Bereich für Bearbeitung und Oberflächenbehandlung: Rotationsschmieden, Ziehmaschine, CVD-Anlage mit einer Fläche von 60 m².

Inspektions- und Verpackungsbereich: REM, XRD, automatische Verpackungsmaschine, 30 m².

Automatisierungssystem:

SPS-Steuerung: Die Siemens S7-1500 steuert Prozessparameter, integriert Sensoren (Temperatur, Druck, Durchfluss) und überwacht in Echtzeit.

Roboterhandhabung: Verwenden Sie einen sechssachsigen Roboterarm (z. B. ABB IRB 6700), um Rohlinge und Fertigprodukte zu handhaben, wodurch die Effizienz um 30 % gesteigert wird.

Datenmanagement: Das MES-System erfasst Produktionsdaten, erstellt Qualitätsberichte und unterstützt die Rückverfolgbarkeit.

Vorteile bei der Integration: Automatisierte Produktionslinien verkürzen die Produktionszyklen um 20 % und erhöhen die Ausbeute auf 98 %. Der Energieverbrauch wird um 15 % gesenkt, die Arbeitskosten werden um 40 % gesenkt.

6.10 Sicherheitsausrüstungen und Schutzmaßnahmen für Seltenerd-Verbundelektroden aus Seltenerd-Wolfram

Sicherheitseinrichtungen und Schutzmaßnahmen sorgen für die Sicherheit des Produktionsprozesses und verringern das Unfallrisiko.

Sicherheitsausrüstung:

Wasserstoff-Lecksucher: Erkennt eine Konzentration unter 0,1 %, schlägt automatisch Alarm und unterbricht die Gasquelle. Empfohlenes Modell: Deutscher Dräger-Detektor.

Explosionengeschütztes Lüftungssystem: 5000 m³/h Luftvolumen zur Verhinderung der Wasserstoffansammlung, ausgestattet mit Frequenzumwandlungssteuerung.

Brandschutz- und -kontrollsystem: Trockenpulver-Feuerlöscher und Sandaufbewahrungsbox für den Umgang mit Gerätebränden mit hohen Temperaturen.

Staubkontrolle: Unterdruck-Staubabsaugung mit Staubkonzentration < 10 mg/m³ und Hochleistungsfilter.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Schutzmaßnahmen:

Personenschutz: Die Bediener tragen Staubmasken (FFP3-Stufe), Schutzbrillen und Hochtemperaturhandschuhe. Im Schweißbereich ist ein Lichtbogenschutzschirm aufgebaut.

Schutz der Ausrüstung: Der Sinterofen und die Verarbeitungsanlagen sind mit Not-Aus-Tasten ausgestattet, und der Druckbehälter wird regelmäßig (einmal jährlich) überprüft.

Umgebungsüberwachung: Echtzeitüberwachung der Werkstatttemperatur ($<30\text{ }^{\circ}\text{C}$), der Luftfeuchtigkeit ($<60\%$) und der Gaskonzentration, um eine sichere Umgebung zu gewährleisten.

Schulung und Notfälle: Die Bediener werden in Wasserstoffsicherheit und Gerätebetrieb geschult (vierteljährlich). Formulieren Sie Notfallpläne, führen Sie regelmäßige Übungen durch (z. B. Brandevakuierung) und stellen Sie sicher, dass die Reaktionszeit bei Unfällen < 5 Minuten beträgt.

Sicherheitsausrüstung und Schutzmaßnahmen entsprechen den OSHA- und ISO 45001-Normen, um die Produktionssicherheit und die Gesundheit der Mitarbeiter zu gewährleisten.



Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 7 In- und ausländische Normen für Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

7.1 Nationale Normen für Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Als bedeutendes Land für Seltenerdresourcen und ein bedeutender Produzent von Wolframelektroden in der Welt steht China an vorderster Front bei der Standardisierung von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen. Diese Normen standardisieren nicht nur die technischen Indikatoren, Herstellungsprozesse und die Qualitätskontrolle von Produkten, sondern betonen auch Umweltschutz- und Sicherheitsanforderungen, um den Anforderungen der heimischen industriellen Entwicklung gerecht zu werden. Das nationale Normensystem stützt sich im Wesentlichen auf nationale Normen (GB/T), ergänzt durch Industrienormen (YS/T, JB/T) und lokale/unternehmenseigene Normen, die einen mehrstufigen normativen Rahmen bilden. Im Folgenden werden die wichtigsten inländischen Normen erläutert:

GB / T 4190-2017 "Wolframelektrode": Dies ist die zentrale nationale Norm auf dem Gebiet der Wolframelektroden in China, die für alle nicht geschmolzenen Wolframelektroden anwendbar ist, einschließlich Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden, die hauptsächlich beim Wolfram-Schutzgasschweißen (WIG-Schweißen), Plasmaschweißen und -schneiden und in anderen Bereichen verwendet werden. Die Norm unterteilt Elektroden in drei Kategorien: reines Wolfram, einfaches Seltenerd-Wolfram und zusammengesetztes Seltenerd-Wolfram und definiert zusammengesetzte Seltenerd-Wolfram-Elektroden als Zugabe von zwei oder mehr Seltenerdoxid (z. B. Lanthanoxid La_2O_3 , Ceroxid CeO_2 , Yttriumoxid Y_2O_3) usw.). Die Norm legt die Anforderungen an die chemische Zusammensetzung fest, wie z. B. einen Gehalt an Lanthanoxid zwischen 0,5 % und 2,2 %, Gesamtseltenerdoxide von nicht mehr als 4 % und eine Reinheit der Wolframmatrix von nicht weniger als 99,95 %. Darüber hinaus hat die Norm enge Toleranzen für physikalische Abmessungen: Die Durchmesser reichen von 0,5 mm bis 10 mm, Toleranzen $\pm 0,05$ mm; Längen von 150 mm bis 175 mm, Toleranzen ± 1 mm. In Bezug auf die Leistung ist es erforderlich, dass die Elektrode eine Elektronenaustrittsleistung von weniger als 2,5 eV, eine Lichtbogenstabilität von mehr als 95 % aufweist und Oberflächenqualitätsstandards (z. B. keine Risse, kein Zunder, Rauheit $\text{Ra} < 0,2$ Mikrometer) spezifiziert sind. Die Norm umfasst auch Prüfmethode wie die Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) für die chemische Analyse und die Bestimmung mechanischer Eigenschaften mit einem Vickers-Härteprüfgerät. Die Formulierung dieser Norm bezieht sich auf die internationale Norm ISO 6848, legt aber mehr Wert auf Chinas lokale Nutzung von Seltenerdresourcen und grüne Herstellungsprinzipien.

YS/T 231-2007 "Seltenerd-Wolframelektroden": Als Industriestandard für Nichteisenmetalle zielt diese Norm speziell auf Seltenerd-dotierte Wolframelektroden ab, einschließlich Komposit-Seltenerd-Elektroden, die zum Schweißen, Schneiden und für elektrische Lichtquellenfelder geeignet sind. Die Norm legt den Schwerpunkt auf Multielement-Kompositanwendungen von Seltenerdoxid, wie z. B. die Angabe eines Gesamtgehalts an Seltenen Erden von 1 % bis 3 % für binäre Komposite (z. B. Ceroxid- und Lanthanoxid-Kombinationen) und von 1,5 % bis 3,5 % für ternäre Komposite (z. B. Ceroxid, Lanthanoxid und Yttriumoxid). Das Prüfverfahren für die Lichtbogenstabilität wird im Abschnitt Leistungstest ausführlich beschrieben: In einer simulierten

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

WIG-Schweißumgebung beträgt der Strom 100 A bis 200 A, und die Lichtbogenflüchtigkeit (<5 % erforderlich) wird aufgezeichnet; Die Lebensdauerprüfung des Lichtbogens erfordert ein kontinuierliches Schweißen bei 200 A DC für mindestens 500 Stunden. Die Norm verlangt auch ein Gefüge: Die Korngröße wird von 5 bis 10 Mikrometern kontrolliert, und die gleichmäßige Verteilung der Seltenerdoxidpartikel wird durch Rasterelektronenmikroskopie (REM) beobachtet. Die Norm wurde 2007 veröffentlicht und anschließend überarbeitet, um neue Anwendungen wie Batterieelektroden für neue Energien, das Hinzufügen von Anti-Kontaminations- und Hochtemperatur-Ermüdungstestindikatoren zu berücksichtigen.

JB/T 12871-2016 "Technische Bedingungen für Wolframelektroden zum Schweißen": Diese Norm für die Maschinenindustrie konzentriert sich auf Wolframelektroden für Schweißanwendungen, einschließlich technischer Bedingungen und Prüfregeln für Verbund-Seltenerd-Wolframelektroden. Die Norm legt die Anforderungen an Verpackung, Transport und Lagerung von Elektroden fest, z. B. muss die Verpackung feuchtigkeits- und kollisionssicher sein und vakuumversiegelte Beutel verwenden. Vermeiden Sie hohe Temperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit während des Transports. Zu den Qualitätsindikatoren gehören die Porosität der Schweißnaht von weniger als 0,1 % und die Zugfestigkeit der Schweißnaht von nicht weniger als 90 % des Substrats. Die Norm führt auch Zuverlässigkeitstests ein, wie z. B. eine Leistungsminderung von 5 % nach der Lagerung in einer Umgebung mit hoher Luftfeuchtigkeit (90 % RH < Diese Norm gilt sowohl für Hersteller als auch für Benutzer von Schweißgeräten und bietet einen detaillierten Abnahmeprozess, der Sichtprüfung, Maßmessung und Leistungsstichprobenprüfung umfasst.

Weitere Normen: Lokale Normen wie die Shanghai Local Standard DB31/T 1234-2020 schreiben die Optimierung der Seltenerdverhältnisse für Multikomposit-Elektroden vor (z. B. Ceroxid: Lanthanoxid: Yttriumoxid = 1:1:3) und erhöhen die Anforderungen an die Dotierung von Nano-Seltenen Erden. Der Enterprise-Standard erweitert die Performance-Metriken auf Basis von GB/T 4190 und eignet sich für High-End-Anwendungen in der Luftfahrt. Diese Standards bilden ein komplementäres System und fördern die Industrialisierung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden.

Der inländische Standard zeichnet sich dadurch aus, dass er sich auf den Umweltschutz konzentriert, die Verwendung von radioaktiven Thoriumwolframelektroden verbietet und an die nationalen Vorschriften für das Management von Seltenen Erden andockt, wobei der Schwerpunkt auf dem Ressourcenrecycling liegt. Standardaktualisierungen werden in der Regel alle 5 bis 7 Jahre durchgeführt, um neue Technologien wie KI-gestützte Tests und umweltfreundliche Vorbereitungsprozesse zu integrieren.

7.2 Internationale Normen für Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Internationale Normen bieten einheitliche technische Spezifikationen und Qualitätsmaßstäbe für den weltweiten Handel, die Herstellung und die Anwendung von Seltenerd-Verbundelektroden und werden hauptsächlich von Organisationen wie der International Organization for Standardization (ISO), der American Welding Society (AWS), dem European Committee for Standardization (CEN) und der Japan Industrial Standards Survey (JISC) formuliert. Diese Standards legen den

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Schwerpunkt auf Leistungskonsistenz, Umwelanforderungen und internationale Kompatibilität und fördern die Stabilität in grenzüberschreitenden Lieferketten. Hier finden Sie eine detaillierte Analyse der wichtigsten internationalen Normen:

ISO 6848:2015 "Lichtbogenschweißen und -schneiden - nicht verbrauchbare Wolframelektroden - Klassifizierung": Als internationale Klassifizierungsnorm für Wolframelektroden gilt diese Norm für nicht geschmolzene Wolframelektroden, einschließlich Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden, für Lichtbogenschweiß- und Schneidprozesse. Die Norm klassifiziert Elektroden als WP (reines Wolfram), WT (Wolframthorium, restriktiv), WL (Wolfram-Lanthanoxid), WC (Wolfram-Ceroxid), WY (Wolfram-Yttriumoxid) und EWG (zusammengesetztes Seltenerd-Wolfram). Für Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden ist die Norm definiert als eine Elektrode, die zwei oder mehr Seltenerdoxide mit einem Gesamtgehalt an Seltenen Erden von 0,5 % bis 4 % enthält, wie z. B. WL20 (mit 1,8 % bis 2,2 % La_2O_3). Zu den physikalischen Spezifikationen gehören Durchmesser von 0,5 mm bis 10 mm (Toleranz $\pm 0,05$ mm) und Längen von 50 mm bis 175 mm (Toleranz ± 1 mm). Zu den Leistungsanforderungen gehören eine Elektronenaustrittsleistung von weniger als 2,5 eV, eine Lichtbogenstartspannung von weniger als 35 V und eine Lichtbogenlebensdauer von mindestens 500 Stunden bei 150 A Strom. Die Norm legt auch Anforderungen an die Oberflächenbehandlung (z. B. Dicke der polierten oder oxidischen Schicht < 5 Mikrometer) und Verpackungsspezifikationen (Feuchtigkeits- und Stoßfestigkeit) fest. Zu den Inspektionsmethoden gehören die Analyse der chemischen Zusammensetzung (ICP-OES) und die Prüfung der Lichtbogenleistung (Hochgeschwindigkeitsfotografie zeichnet die Lichtbogenstabilität auf). Die Norm wurde 2015 unter Bezugnahme auf die EU-REACH-Verordnung überarbeitet und betonte die Förderung radioaktiver Alternativen zu Thoriumwolframelektroden.

AWS A5.12M/A5.12:2009 (R2017) Spezifikation für Wolfram- und oxiddispergierte Wolframelektroden zum Lichtbogenschweißen und -schneiden: Die Norm der American Welding Society ist die maßgebliche Spezifikation im Bereich des Schweißens, die stark auf ISO 6848 abgestimmt ist, sich aber mehr auf die tatsächliche Schweißleistung konzentriert. Die Norm klassifiziert Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden als EWG-Serie und schreibt vor, dass der Gehalt an Seltenerdoxiden (wie La_2O_3 , CeO_2 , Y_2O_3) auf 0,1 % genau ist und der Gesamtgehalt 4 % nicht überschreitet. Zum Beispiel erfordert EWC-2 (mit 2 % Ceroxid) eine Lichtbogenstartzeit von $< 0,1$ Sekunden und eine Lichtbogenstabilität > 90 % beim DCSP-Schweißen (DC positive Polarity). Die Norm stellt detaillierte Anforderungen an die Hochtemperaturleistung: Bei 200 A Strom $<$ die Verschleißrate der Elektrodenspitze 0,01 mm/h. Die Abmessungen und Toleranzen entsprechen der ISO-Norm und die Empfehlungen für den Schweißstrombereich wurden erhöht (z. B. Elektrode mit einem Durchmesser von 2,4 mm für 50 bis 150 A). Bei der Neuveröffentlichung im Jahr 2017 verschärfte die Norm die Umweltschutzklausel und empfahl die Verwendung von zusammengesetzten Seltenen Erden anstelle von Thorium und Wolfram. Diese Norm gilt für den US-Markt und den internationalen Handel und enthält detaillierte Zertifizierungsrichtlinien.

EN ISO 6848:2015 (Europäische Norm): Die europäische Norm ist die gleiche wie ISO 6848, enthält jedoch EU-regulatorische Anforderungen wie REACH und RoHS. Diese Norm betont die Nicht-Radioaktivität und Nachhaltigkeit von Elektroden und legt Stabilitätstests für Komposit-

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Seltenerd-Wolframelektroden bei hoher Luftfeuchtigkeit (90 % RH) und hoher Temperatur (1500 °C) fest: Oxidationsrate <0,01 mg/cm², Leistungsdämpfung <5 %. Der Standard umfasst auch eine Ökobilanz, die von den Herstellern verlangt, ihren CO₂-Fußabdruck und die Rückgewinnungsrate von Seltenen Erden (>80 %) anzugeben. Geeignet für die EU-Mitgliedstaaten, um die Anwendung grüner Schweißtechnologie zu fördern.

JIS Z 3233:2016 "Wolframelektroden für das Schutzgas-Schutzgasschweißen": Die japanische Industrienorm konzentriert sich auf Wolframelektroden für das Schutzgasschweißen, einschließlich Seltenerdmetall-Verbundstoffen. Der Standard spezifiziert einen Seltenerdgehalt von 0,1 %, wie z. B. WY20 mit 1,8 % bis 2,2 % Y₂O₃. Der Leistungstest umfasst Präzisionsschweißindikatoren: Lichtbogenstartspannung <30 V und Porosität der Schweißnaht < 0,05 %. Der Schwerpunkt der Norm liegt auf der Mikrostrukturkontrolle, indem die Korngröße < 10 Mikrometern durch Röntgenbeugung (XRD) überprüft wird. Diese Norm gilt für die japanische Elektronik- und Automobilindustrie und treibt hochpräzise Anwendungen voran.

Der gemeinsame Nenner internationaler Standards ist die Betonung der radioaktiven Umwandlung und Leistungsoptimierung mit einem Erneuerungszyklus von 3 bis 5 Jahren, um sich an Veränderungen in den globalen Lieferketten anzupassen.

7.3 Normen für die Materialzusammensetzung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Die Materialzusammensetzungsnorm ist die Grundlage für die Qualitätskontrolle von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden und legt das Zusammensetzungsverhältnis, die Reinheitsanforderungen und die Verunreinigungsgrenzwerte von Wolframmatrix- und Seltenerdoxiden fest. Diese Standards stellen die Konsistenz der Zusammensetzung durch chemische Analysemethoden sicher und vermeiden Leistungsschwankungen. Aus in- und ausländischer Sicht wird folgendes herausgearbeitet:

Inländische Normen für die Materialzusammensetzung (GB/T 4190-2017 und YS/T 231-2007):

Wolframmatrix: Reinheit nicht weniger als 99,95 %, Gesamtgehalt an Verunreinigungen < 0,05 %. Spezifische Grenzwerte für Verunreinigungen: Eisen (Fe) < 0,01 %, Silizium (Si) < 0,005 %, Kohlenstoff (C) < 0,005 %, Sauerstoff (O) < 0,01 %. Diese Grenzwerte gewährleisten eine hohe Leitfähigkeit und Beständigkeit gegen hohe Temperaturen der Elektroden.

Seltenerdoxide: 0,5 % bis 2,2 % der einzelnen Seltenerdelektroden; Der Gesamtgehalt an Komposit-Seltenerdelektroden beträgt 1 % bis 4 %, wie z. B. binäre Komposite (Ceroxid + Lanthanoxid = 1,5 % bis 3 %), ternäre Komposite (Ceroxid + Lanthanoxid + Yttriumoxid = 1,5 % bis 3,5 %). Der Standard ermöglicht den Einsatz von Spurenzusätzen wie Zirkonoxid (ZrO₂<1 %), um die Oxidationsbeständigkeit zu optimieren.

Nachweismethode: ICP-OES wurde verwendet, um den Gehalt an Seltenen Erden und Verunreinigungen mit einer Genauigkeit von ±0,01 % zu bestimmen; Atomabsorptionsspektroskopie (AAS) unterstützte Validierung. Die Norm verlangt eine Abweichung von Charge zu Charge <von 0,1 %, die durch eine statistische Prozesskontrolle (SPC) überwacht wird.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Internationale Normen für die Materialzusammensetzung (ISO 6848:2015 und AWS A5.12:2009):

Wolframmatrix: Reinheit $\geq 99,9\%$, Gesamtverunreinigungen $< 0,1\%$. Grenzwerte für Verunreinigungen: Fe $<0,02\%$, Si $<0,01\%$, C $<0,01\%$, O $<0,02\%$. Die Norm betont die Wirkung von Verunreinigungen auf die Elektronenemission.

Seltenerdoxide: Der Gesamtgehalt an Kompositelektroden beträgt $0,5\%$ bis 4% , z. B. WL20 enthält $1,8\%$ bis $2,2\%$ La₂O₃; Die EWG-Serie ermöglicht die Mehrfachcompoundierung (z. B. La₂O₃+CeO₂+Y₂O₃= $1,5\%$ bis $3,5\%$). Die Norm verbietet radioaktive Elemente (wie ThO₂) und fördert die unschädliche Substitution von Seltenen Erden.

Nachweismethode: RFA-Analyse von Verunreinigungen, ICP-MS-Bestimmung von Seltenen Erden (Genauigkeit $\pm 0,005\%$). Die Norm verlangt von den Lieferanten, dass sie ein Zertifikat über die Zusammensetzung (COA) vorlegen, das die Chargennummer und das Prüfdatum enthält.

Anwendbarkeitsanalyse: Nationale Standards konzentrieren sich eher auf die lokale Nutzung von Seltenerdressourcen (wie z.B. die Verwendung von Ceroxid und Lanthanoxid), während internationale Standards die globale Verträglichkeit und den Umweltschutz betonen (z.B. REACH-Grenzwerte). Die strikte Umsetzung von Zusammensetzungsstandards erhöht die Lebensdauer der Elektrode um 20% , indem sie Verunreinigungen reduziert, wodurch sie für stark nachgefragte Bereiche wie die Luft- und Raumfahrt geeignet ist.

7.4 Leistungsprüfnormen für Verbund-Seltenerd-Wolframelektroden

Die Leistungsprüfnorm definiert die Bewertungsmethoden und Indikatoren für die physikalischen, elektrischen, chemischen und schweißtechnischen Eigenschaften von Seltenerd-Verbundelektroden aus Seltenerdmetallen, um die Zuverlässigkeit des Produkts in praktischen Anwendungen zu gewährleisten. Diese Standards umfassen Labortests und simulierte Zustandsvalidierung, die mehrere Dimensionen von Mikro bis Makro abdecken.

Inländische Leistungstestnormen (YS/T 231-2007 und JB/T 12871-2016):

Elektronische Fluchtleistung und elektrische Leistung: Die Fluchtleistung wird von der USV gemessen und muss $< 2,5\text{ eV}$ betragen; Leitfähigkeit $> 1,8 \times 10^7\text{ S/m}$, getestet mit der Vier-Sonden-Methode. Die Lichtbogenstabilität wird an einer WIG-Lötstation mit Strömen von 100 bis 200 A , einer Flüchtigkeit $< 5\%$ und einer Stabilität $> 95\%$ getestet.

Mechanische Eigenschaften: Härte HV 450 bis 500 mit Vickers-Härteprüfgerät; Zugfestigkeit 800 bis 1000 MPa , geprüft mit einer universellen Zugprüfmaschine; Bruchzähigkeit K_{IC} 8 bis $10\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, gemessen mit einem Schlagprüfgerät.

Thermische Eigenschaften: Wärmeleitfähigkeit 174 bis $190\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, Laser-Flash-Test; Der Wärmeausdehnungskoeffizient betrug $4,5$ bis $5,0 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, und das Dilatometer wurde im Bereich von 25 bis $2000\text{ }^\circ\text{C}$ gemessen.

Schweißleistung: Die Lebensdauer des Lichtbogens beträgt > 500 Stunden bei 200 A DC und die Anlaufspannung des Lichtbogens beträgt $< 35\text{ V}$; Die Eindringtiefe beträgt $\pm 0,1\text{ mm}$, und die Lichtbogenform wird mit Hochgeschwindigkeitsfotografie aufgezeichnet.

Prüfumgebung: Die Norm legt die Prüftemperatur von 20 bis $25\text{ }^\circ\text{C}$ fest, die Luftfeuchtigkeit $< 60\%$ und das Gerät ist nach JJG-Normen kalibriert.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Internationale Standards für Leistungstests (ISO 6848:2015 und AWS A5.12:2009):

Lichtbogenleistung: Lichtbogenstartzeit < 0,1 Sekunden, Spannung < 35 V; Die Stabilität > 90% und wurde mit einem Stromsignalanalysator getestet.

Lebensdauer und Haltbarkeit: 500 bis 1000 Stunden Lichtbogenlebensdauer, Ermüdungstest bei hohen Temperaturen (1500°C, 10° Zyklen ohne Risse).

Chemische Eigenschaften: Die Korrosionsbeständigkeit wurde durch einen Hochtemperatur-Oxidationsversuch bei < Oxidationsrate von 0,01 mg/cm² in einer sauerstoffhaltigen Atmosphäre bei 1500°C bestimmt.

Mikroskopische Eigenschaften: Korngröße 5 bis 10 Mikrometer, REM-Betrachtung; Die Gleichmäßigkeit der Verteilung der Seltenen Erden wurde mit TEM analysiert.

Prüfmethode: Erfüllt ASTM-Standards, wie z. B. E8-Zugversuch und E399-Bruchzähigkeitstest.

Die Anwendung von Leistungstestnormen gewährleistet einen hohen Wirkungsgrad der Elektrode beim Schweißen und reduziert die Ausfallrate um 20%.

7.5 Umweltschutz- und Sicherheitsnormen für Seltenerd-Komposit-Wolframelektroden

Umweltschutz- und Sicherheitsstandards zielen darauf ab, die Auswirkungen der Produktion und Verwendung von Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit zu minimieren, wobei der Schwerpunkt auf der Radioaktivitätsfreiheit, der Ressourcenrückgewinnung sowie der Risikoprävention und -kontrolle liegt.

Inländische Umweltschutz- und Sicherheitsstandards:

GB 26451-2011 "Rare Earth Industrial Pollutant Emission Standard": Legt fest, dass die Staubkonzentration im Abgas < 10 mg/m³, SO₂ < 50 mg/m³ beträgt; Seltenerdionen im Abwasser < 0,5 mg/L, pH 6 bis 9. Die Norm schreibt vor, dass Unternehmen mit Abwasseraufbereitungsanlagen mit einer Rückgewinnungsrate von > 80 % ausgestattet sein müssen.

HJ 2527-2012 "Technische Spezifikation für den Umweltschutz der Seltenerdindustrie": Betonung des umweltfreundlichen Vorbereitungsprozesses, Verwendung von nicht-radioaktiven Seltenen Erden anstelle von Thorium und Wolfram. Die Verwertungsquote von Altelektroden > 85 % und die CO₂-Emissionen aus dem Produktionsprozess < 2 kg CO₂/kg Elektroden. Zu den Standards gehören Ökobilanzen (LCAs), die eine Berichterstattung über die Umweltauswirkungen in der gesamten Kette von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung vorschreiben.

GB/T 27948-2011 "Technische Spezifikation für Schweißsicherheit": Zu den Sicherheitsanforderungen gehören ein Wasserstoffspeicherdruck < 15 MPa, eine Lecksuchkonzentration < 0,1 %; Serienmäßige Bedienerschutzausrüstung (Staubmaske FFP3-Klasse, hochtemperaturbeständige Handschuhe > 300°C). Die Lüftungsleistung der Werkstatt > 5000 m³/h, der Lichtbogenstrahlenschutz entspricht GBZ 115.

Internationale Umweltschutz- und Sicherheitsstandards:

REACH-Verordnung (EG 1907/2006): Erfordert die Registrierung von Seltenerdoxiden mit einem Grenzwert von 0,1 % < schädliche Verunreinigungen. Die Abfallentsorgung entspricht der EU-Abfallrichtlinie mit einer Recyclingquote von > 90%. Die Norm verbietet Thorium und Wolfram und fördert die Verwendung von zusammengesetzten Seltenen Erden.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

RoHS-Richtlinie (2011/65/EU): Begrenzung des Gehalts an gefährlichen Stoffen (wie Blei, Quecksilber) in Elektroden auf <0,1 %, um die Sicherheit elektronischer Geräte zu gewährleisten.
ISO 14001:2015: Die Norm für Umweltmanagementsysteme verlangt von Unternehmen, den Energieverbrauch und die Emissionen zu überwachen, mit dem Ziel, den CO₂-Fußabdruck um 20 % zu reduzieren. In Bezug auf die Sicherheit spezifiziert OSHA 1910.252 den Schutz des Schweißbereichs mit einer Strahlenbelastung < 1 mSv/Jahr.

Diese Standards fördern eine nachhaltige Produktion und reduzieren die Umweltbelastung um 30 %.

7.6 Zertifizierungssystem für Verbund-Seltenerd-Wolframelektroden

Das Zertifizierungssystem stellt sicher, dass die Seltenerdmetall-Verbundelektroden die Standards durch die Verifizierung durch Dritte erfüllen, wodurch die Reputation des Produkts und der Marktzugang verbessert werden.

Inländisches Zertifizierungssystem:

China National Compulsory Product Certification (CCC): Verantwortlich für das China Quality Certification Center (CQC), das Sicherheit und Leistung in Übereinstimmung mit GB/T 4190 überprüft. Die Zertifizierung umfasst Werksaudits, Stichprobenprüfungen (z. B. Lebensdauer des Lichtbogens) und Dokumentenprüfungen mit einem Zyklus von 1 bis 3 Monaten.

China Quality Certification Center (CQC): Bietet freiwillige Zertifizierungen für die chemische Zusammensetzung (ICP-OES-Prüfung) und die Einhaltung von Umweltvorschriften (Schrottreyclingquote >85 %). Das Prüfzeichen stärkt die Wettbewerbsfähigkeit des heimischen Marktes.

Lizenz zur Herstellung von Seltenerdprodukten: wird vom Ministerium für Industrie und Informationstechnologie ausgestellt und verlangt von Unternehmen, dass sie über Rückverfolgbarkeitsmöglichkeiten für die Lieferkette von Seltenen Erden verfügen und Berichte über die Zusammensetzung und Leistung vorlegen.

Internationales Zertifizierungssystem:

ISO 9001:2015: Die Zertifizierung des Qualitätsmanagementsystems, ausgestellt von SGS oder TÜV, gewährleistet die Konsistenz der Produktion und eine Erträge von > 98%.

CE-Zertifizierung: Erfüllt die Anforderungen des EU-Marktes, überprüft die Einhaltung von REACH und RoHS, einschließlich elektromagnetischer Verträglichkeit und Sicherheitsprüfungen.

AWS-Zertifizierung: Zertifiziert von der American Welding Society für AWS A5.12, die die Überprüfung der Schweiß Eigenschaften (z. B. Lichtbogenspannungsprüfung) umfasst.

TÜV-Zertifizierung: Zertifiziert durch das Deutsche Institut für Technische Aufsicht, ist es für Hochdruckgeräte geeignet und bescheinigt die Leistung und Haltbarkeit bei hohen Temperaturen.

Der Zertifizierungsprozess umfasst die Beantragung, Überprüfung, Prüfung und Zertifizierung und ist 3 bis 5 Jahre gültig. Unternehmen müssen ihre Systeme warten und regelmäßig überprüfen, um ihre Zertifizierungen aufrechtzuerhalten.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

7.7 Vergleich und Anwendbarkeitsanalyse von Standards für zusammengesetzte Seltenerd-Wolframelektroden

Standard-Vergleich:

Kontrolle der Zusammensetzung: Der inländische Grenzwert für Verunreinigungen nach GB/T 4190 < 0,05 %, der internationale Grenzwert nach ISO 6848 < 0,1 % und der inländische strenger, um die Reinheitsanforderungen von Seltenerdressourcen zu erfüllen.

Leistungsindikatoren: Inländisches YS/T 231 betont die Lebensdauer des Lichtbogens > 500 Stunden, das internationale AWS A5.12 legt mehr Wert auf die Lichtbogenstartleistung < 35 V, und internationale Standards eignen sich besser für das Präzisionsschweißen.

Anforderungen an den Umweltschutz: Die inländische Recyclingquote von GB 26451 > 85 %, die internationale REACH-> 90 % und internationale Standards achten verstärkt auf die Nachhaltigkeit der globalen Lieferkette.

Testmethoden: Die beiden sind ähnlich (z. B. ICP-OES, SEM), aber internationale Standards führen KI-gestützte Analysen ein, um die Effizienz zu verbessern.

Anwendbarkeitsanalyse:

Luft- und Raumfahrt: International ISO 6848 und AWS A5.12 sind anwendbar und betonen die Stabilität bei hohen Temperaturen und die Schweißqualität, die für hochpräzise Anforderungen geeignet sind.

Automobilbau: Inländische GB/T 4190 und YS/T 231 sind anwendbar, wobei der Schwerpunkt auf Kosteneffizienz und Massenproduktion liegt und für das Leichtbauschweißen geeignet ist.

Neue Energie: Internationale REACH- und RoHS-Priorität, Gewährleistung von Ungiftigkeit und Recycling, geeignet für Batterieelektroden.

Elektronikindustrie: Japan JIS Z 3233 ist geeignet und legt Wert auf Mikrolötleistung und geringe Umweltverschmutzung.

Exportorientiert: Unternehmen benötigen eine Doppelzertifizierung (national + international), wie z.B. chinesische Produkte, die in die EU exportiert werden, benötigen eine CE-Kennzeichnung.

Die Wahl des Standards hängt vom Markt und der Anwendung ab, und die Kombination kann die Wettbewerbsfähigkeit steigern.

7.8 Neueste Standardaktualisierungen für Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen

Ab August 2025 konzentrieren sich die Standardaktualisierungen für Seltenerd-Seltenerdmetall-Verbundelektroden auf umweltfreundliche Fertigung, neue Anwendungen und technologische Innovationen, um die weltweite Nachfrage nach Nachhaltigkeit und Leistungsoptimierung widerzuspiegeln. Hier sind die Details der neuesten Updates:

Aktualisierung des Inlandsstandards:

Überarbeiteter Entwurf GB/T 4190 (2025 zur Kommentierung): Es wird ein neues Kapitel zu Multikomposit-Elektroden hinzugefügt, das die Anforderungen an die Dotierung von Nano-Seltenen Erden (Partikelgröße < 100 nm) festlegt, und die Obergrenze des Gesamtgehalts an Seltenen Erden wird auf 4,5 % angepasst. Der Ermüdungstest bei hohen Temperaturen (2000 °C,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

10⁵ Zyklen ohne Risse) und der Antifouling-Index (Korrosionsrate < 0,005 mg/cm²) wurden hinzugefügt. Die Überarbeitung betont die Angleichung an die Rare Earth Management Regulations (2024) und verlangt von den Herstellern, über die Nachhaltigkeit der Lieferkette für Seltene Erden zu berichten.

Überarbeitung von YS/T 231-2024: Erhöhung der unteren Grenze der Lichtbogenlebensdauer auf 600 Stunden und Hinzufügung elektrokatalytischer Leistungstests (z. B. Überspannung < 0,2 V), die für den Bereich der Batterien mit neuer Energie geeignet sind. Der Standard führt die KI-gestützte Mikroanalyse (automatische Verarbeitung von REM-Daten) ein, um die Testeffizienz um 20 % zu verbessern.

Aktualisierungen internationaler Normen:

Überarbeitung der ISO 6848:2023: Es wurde eine Unterklasse der EWG-Verbundklassifizierung (z. B. EWG-LaCeY) hinzugefügt, die eine gleichmäßige Verteilung der Seltenerdmetalle erfordert, um die TEM-Verifizierung zu bestehen (Partikelabstand < 500 nm). Das Hinzufügen von Modulen für neue Anwendungen, wie z. B. den 3D-Druck von Hilfselektroden, erfordert eine Leitfähigkeits> von $1,9 \times 10^7$ S/m. Überarbeitet, um in die Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDGs) der Vereinten Nationen integriert zu werden, um eine Berichterstattung über den CO₂-Fußabdruck < 1,5 kg CO₂/kg vorzuschreiben.

AWS A5.12:2024 Revision: Erweitert auf neue Energieanwendungen, die eine Lebensdauer von > 5000 Mal für Elektroden beim Schweißen von Lithiumbatterien spezifizieren. Die Zertifizierung mit dem grünen Label mit einer Rückgewinnungsrate von > 95 % wurde hinzugefügt. Die Norm aktualisiert die Testmethodik, um Hochgeschwindigkeitsfotografie in Kombination mit maschinellem Lernen zur Analyse der Lichtbogenstabilität einzuführen.

Umwelt- und Sicherheitsupdates:

Überarbeitung der EU-REACH-Verordnung 2025: Verstärkte Überprüfung der Lieferketten für Seltene Erden, indem importierte Elektroden zur Abgabe von Erklärungen über Konfliktminerale verpflichtet werden, mit einem Ziel für eine Gewinnungsrate von > 95 %.

Chinas Rare Earth Management Regulations 2024 Implementation Rules: Verlangt von Unternehmen, jährliche Umweltverträglichkeitsprüfungen einzureichen, einschließlich Daten zu Staubemissionen und Abwasserbehandlung.

Trends und Auswirkungen: Das jüngste Update, das sich auf digitale Tests (z. B. KI-Optimierung) und Kreislaufwirtschaft (z. B. Recycling von Seltenen Erden) konzentriert, wird voraussichtlich zu einer Reduzierung der Elektrodenkosten um 10 % führen. Die Unternehmen müssen den Produktionsprozess rechtzeitig anpassen und sich an der Formulierung von Normen beteiligen, um Marktchancen zu nutzen.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)



Kapitel 8 Prüfung und Qualitätsprüfung von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden

8.1 Prüfverfahren für Verbund-Seltenerd-Wolframelektroden

Leistungsprüfverfahren für Seltenerd-Verbundwerkstoff-Wolframelektroden sind der Schlüssel zur Gewährleistung ihrer Zuverlässigkeit in Anwendungen wie Schweißen, Schneiden und Schmelzen. Diese Methoden umfassen eine umfassende Bewertung der elektrischen, thermischen, mechanischen und schweißtechnischen Eigenschaften mit dem Ziel, die Elektronenemissionsfähigkeit, die Lichtbogenstabilität, die Hochtemperaturbeständigkeit und die Lebensdauer der Elektrode zu überprüfen. Durch standardisierte Prüfungen können nicht nur potenzielle Fehler identifiziert, sondern auch der Produktionsprozess optimiert und die Produktqualität verbessert werden. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Erläuterung der wichtigsten Prüfmethoden, Geräte, Schritte und Anwendungsfälle.

Leistungstest für die Elektronenemissionsleistung: Die Elektronenemissionsleistung ist der Kernindex von Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen, der sich direkt auf die Schwierigkeit der Lichtbogeninitiierung und die Lichtbogenstabilität auswirkt. Zu den gängigen Methoden gehören die Messung der Elektronenausstrittsleistung und die Prüfung der Elektronenemissionsstromdichte. Der Elektronenausstrittsleistungstest verwendet ultraviolette Photoelektronenspektroskopie (UPS) oder thermionische Emission, um die Elektrode in einer Vakuumumgebung (10^{-6} Pa) auf 2000 °C zu erhitzen, um die minimale Energie zu messen, die

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

für den Elektronenaustritt erforderlich ist. Die Norm fordert eine Fluchtleistung von weniger als 2,5 eV. Bei Kompositelektroden wie WLaCe, die Ceroxid und Lanthanoxid enthalten, haben Tests gezeigt, dass die Fluchtleistung auf weniger als 2,0 eV reduziert werden kann, wodurch der Wirkungsgrad der Lichtbogeninitiierung um 20 % verbessert wird. Bei der elektronischen Emissionsstromdichteprüfung wird ein analoger Lichtbogen verwendet, um die Stromdichte ($>10 \text{ A/mm}^2$) bei 100 A Strom zu messen, und die Wellenformschwankungen werden von einem Oszilloskop aufgezeichnet, um eine Stabilität $> 95 \%$ zu gewährleisten.

Lichtbogenleistungsprüfung: Die Lichtbogenleistungsprüfung simuliert die tatsächliche Schweißumgebung, einschließlich der Startspannung des Lichtbogens, der Lichtbogenstabilität und der Lebensdauerprüfung. Bei der Lichtbogenleistungsprüfung wird mit einem WIG-Schweißgerät eine Spannung unter Argonschutz (Durchfluss 10 l/min) angelegt und die niedrigste Spannung ($<35 \text{ V}$) aufgezeichnet, die den Lichtbogen auslöst. Für ternäre Kompositelektroden (z. B. WLaCeY) zeigen Tests eine Lichtbogenstartzeit von $<0,1$ Sekunden. Prüfung der Lichtbogenstabilität Die Lichtbogenform und die Driftrate ($<5\%$) werden mit einer Hochgeschwindigkeitskamera (1000 Bilder pro Sekunde) beobachtet und Schwankungen in Kombination mit einem Stromsignalanalysator bewertet. Der Lichtbogenlebensdauertest wird kontinuierlich bei 200 A DC geschweißt, um eine Spitzenverschleißrate ($<0,01 \text{ mm/h}$) und eine Lebensdauer von 500 bis 1000 Stunden zu erfassen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Lebensdauer von Seltenerd-Wolframelektroden mit ZrH_2 um 30 % verlängert wurde.

Thermische Leistungsprüfung: Die thermische Prüfung umfasst die Wärmeleitfähigkeit, den Wärmeausdehnungskoeffizienten und die Beständigkeit gegen Temperaturschocks. Die Wärmeleitfähigkeit wurde mittels Laserblitz bei Raumtemperatur bis 2000°C (174 bis $190 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$) gemessen. Der Wärmeausdehnungskoeffizient wird mit dem Dilatator getestet ($4,5$ bis $5,0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$), um sicherzustellen, dass die thermische Belastung bei hohen Temperaturen minimiert wird. Der Thermoschocktest verwendet einen schnellen Kälte- und Wärmezyklus (25 bis 2000°C , 100 Zyklen), um das Auftreten von Rissen zu beobachten. Die Anzahl der Zyklen der Kompositelektrode, die Zirkonoxid enthält, > 500 Mal ohne offensichtliche Beschädigung.

Prüfung der Schweißleistung: Bei der Schweißnahtprüfung wird die Schweißqualität bewertet, z. B. Eindringtiefe, Porosität und Zugfestigkeit. Schweißen Sie Edelstahl- oder Aluminiumlegierungen auf einer Standard-WIG-Lötstation mit einem Strom von 100 bis 200 A und messen Sie den Einbrand ($0,5$ bis 5 mm) und die Porosität ($<0,1\%$). Die Zugfestigkeit der Schweißnaht wird mit der Universalprüfmaschine ($>800 \text{ MPa}$) geprüft. In diesem Fall ist die Schweißqualität der E3-Seltenerd-Wolframelektrode besser als die der Thoriumwolframelektrode beim Schweißen von Aluminiumlegierungen, und die Porosität wird um 40 % reduziert.

Ausrüstung und Verfahren: Die Prüfausrüstung umfasst ein WIG-Schweißgerät, einen Vakuumofen, ein USV-Spektrometer und eine Hochgeschwindigkeitskamera. Schritte: 1. Probenvorbereitung (Schleifspitze 30 bis 60°); 2. Umweltkontrolle (Vakuum oder Argon); 3. Parametereinstellung (z. B. Strom, Temperatur); 4. Datenerfassung (Oszilloskop, Thermometer); 5. Analyse und Bewertung (Software, die Wellenformen verarbeitet). Zu den Herausforderungen gehört die Stabilität der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Ausrüstung bei hohen Temperaturen, die eine regelmäßige Kalibrierung (vierteljährlich) erfordert.

Die systematische Anwendung von Leistungsprüfmethoden gewährleistet die hohe Zuverlässigkeit von Seltenerd-Verbundelektroden und fördert deren Förderung in der High-End-Fertigung.

8.2 Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Seltenerdmetall-Komposit-Wolframelektroden

Die Prüfung der mechanischen Eigenschaften ist ein wichtiges Mittel, um die Haltbarkeit und Stabilität von Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen in Umgebungen mit hohen Temperaturen und hoher Beanspruchung zu bewerten. Zu diesen Eigenschaften gehören Härte, Festigkeit, Zähigkeit und Verschleißfestigkeit, beeinflusst durch Zusätze von Seltenerdoxiden und Mikrostruktur. Inspektionsmethoden kombinieren Standardtests und simulierte Betriebsbedingungen, um potenzielle mechanische Defekte zu identifizieren und das Elektrodendesign zu optimieren. Im Folgenden werden die Untersuchungsmethode, die Ausrüstung, die Schritte und die zugehörige Analyse beschrieben.

Härteprüfung: Die Härte spiegelt die Verformungsbeständigkeit der Elektrode wider, wobei die Vickers-Härte (HV) ein gängiger Indikator ist. Die Compositelektrode hat eine Härte von 450 bis 500 HV und ist damit 15 % höher als reines Wolfram (400 HV). Die Prüfung wurde mit einem Vickers-Härteprüfer mit einer Belastung von 1 kgf und einer Eindringzeit von 10 Sekunden durchgeführt. Schritte: 1. Polieren der Probe ($Ra < 0,1$ Mikron); 2. Mehrpunkt-Test (mindestens 5 Punkte); 3. Berechnen Sie den Durchschnitt. Die Härte der Elektrode, die Yttriumoxid enthielt, war auf die Kornfeinung zurückzuführen, und der Test zeigte, dass die Härte nach der Zugabe von ZrH_2 um 10 % zunahm.

Festigkeitsprüfung: Die Zug- und Druckfestigkeit prüft die Belastbarkeit der Elektroden. Zugfestigkeit 800 bis 1000 MPa, 400 bis 600 MPa bei hoher Temperatur (1500°C). Verwenden Sie eine Universalprüfmaschine, um beide Enden der Elektrode mit einer Zuggeschwindigkeit von 1 mm/min zu klemmen. Schritte: 1. Probenvorbereitung (Länge 50 mm, Durchmesser 2 mm); 2. Umweltkontrolle (Heizung des Vakuumofens); 3. Zeichnen Sie die Spannungs-Dehnungs-Kurve auf; 4. Berechnen Sie die Festigkeit und den Modul. Seltene Erden werden hinzugefügt, um die Grenzfestigkeit des Getreides zu erhöhen, und die Festigkeit der WLaCeY-Elektrode ist in diesem Fall 20 % höher als die von reinem Wolfram.

Zähigkeitsprüfung: Bruchzähigkeit (K_{IC}) 8 bis 10 $MPa \cdot m^{1/2}$, geprüft mit einem Schlagprüfgerät. Schritte: 1. Bereiten Sie V-Kerb-Proben vor; 2. Stoßbelastung (Energie 50 J); 3. Messen Sie die Bruchenergie. Seltenerdoxide reduzieren Korngrenzdefekte und verbessern die Zähigkeit, und Tests zeigen, dass die Zähigkeit nach der Zugabe von Ceroxid um 25 % zunimmt.

Abriebfestigkeitsprüfung: Die Verschleißfestigkeitsprüfung simuliert den Schweißverschleiß mit einem Kugelscheiben-Reibungsprüfgerät mit einer Belastung von 5 N und einer Drehzahl von 200 U/min. Schritte: 1. Polieren der Oberfläche der Elektrode, 2. Reibungstest (Zeit 1 Stunde), 3. Messung des Verschleißvolumens ($< 0,01$ mm³). Die Verschleißrate der Elektroden, die Zirkonoxid

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

enthalten, ist um 30 % geringer, da sich eine Schutzschicht auf der Oberfläche bildet.

Ausrüstung und Herausforderungen: Zur Ausstattung gehören Härteprüfgeräte, Prüfmaschinen und Tribometer, die regelmäßig kalibriert werden müssen (Norm ISO 17025). Zu den Herausforderungen gehören die Sicherheit und Genauigkeit von Hochtemperaturprüfungen, die Vakuumumgebungen und Infrarot-Temperaturmessungen erfordern. Bei der Analyse wird Finite-Elemente-Software verwendet, um die Spannungsverteilung zu simulieren und Fehler vorherzusagen.

Die vollständige Implementierung der mechanischen Eigenschaftsprüfung gewährleistet die Zuverlässigkeit der Elektrode unter extremen Bedingungen.

8.3 Gefügeanalyse von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Die Mikrostrukturanalyse zeigt die Kornverteilung, die Phasenzusammensetzung und die Defekteigenschaften von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden, was für das Verständnis des Leistungsmechanismus entscheidend ist. Zu diesen Analysemethoden gehören optische Mikroskopie, REM, TEM und XRD, um die Seltenerddotierung und die Prozessparameter zu optimieren. Die Analysemethoden, die Ausrüstung, die Schritte und die Interpretation der Ergebnisse werden im Folgenden beschrieben.

Rasterelektronenmikroskopie (REM): Beim REM werden Oberflächentopographien und Brüche bei Vergrößerungen von 1000 bis 50000x beobachtet. Schritte: 1. Schneiden und Polieren der Probe (Elektropolieren); 2. Vakuum-Goldbeschichtung (Dicke 5 nm); 3. Abtastende Bildgebung (Beschleunigungsspannung 10 kV); 4. Analyse der Korngröße (5 bis 10 Mikrometer) und der Verteilung der Seltenerdpartikel (Gleichmäßigkeit >90%). Die Ergebnisse zeigten, dass Seltenerdoxide die Korngrenzen festhielten, das Kornwachstum hemmten und die Körner der Elektroden, die ZrH₂ enthielten, um 20 % verfeinert wurden.

Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)-Analyse: TEM untersucht nanoskalige Strukturen wie Seltenerdpartikel (50 bis 200 nm) und Korngrenzdefekte. Schritte: 1. Ausdünnung der Probe (Ionenverdünnung auf <100 nm); 2. TEM einfügen; 3. Bildgebung und Beugungsanalyse; 4. Interpretieren Sie die Versetzungsdichte ($<10^8 \text{ cm}^{-2}$). Der Test zeigte, dass die Verbindung aus Lanthanoxid und Ceroxid die Versetzung verringerte und die Zähigkeit verbesserte.

Röntgenbeugungsanalyse (XRD): XRD identifiziert die Phasenzusammensetzung und die Kristallstruktur. Schritte: 1. Vorbereitung der Pulver- oder Blockprobe; 2. Scannen (Schrittweite 0,02°); 3. Analyse der Peakposition (Wolfram-Peak und Seltenerd-Phasen-Peak); 4. Berechnen Sie die Korngröße (Scherrer-Formel). Die Ergebnisse bestätigen, dass Seltenerdoxide eine stabile zweite Phase bilden, wie z. B. La₂Zr₂O₇, die die Hochtemperaturstabilität verbessert.

Weitere Methoden: Elektronenrückstreuung (EBSD) zur Analyse der Kristallorientierung, Rasterkraftmikroskopie (AFM) zur Messung der Oberflächenrauheit. Kombinieren Sie Software wie ImageJ, um die Getreideverteilung zu quantifizieren.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Die Mikrostrukturanalyse ist das Herzstück der Qualitätskontrolle und unterstützt die Elektrodenoptimierung.

8.4 Nachweis der chemischen Zusammensetzung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Die Prüfung der chemischen Zusammensetzung bestätigt die Reinheit der Wolframmatrix und den Seltenerdoxidgehalt der Verbund-Seltenerd-Wolframelektrode, um die Einhaltung der Norm zu gewährleisten. Diese Methoden sind hochgenau und schnell für die Qualitätskontrolle in der Produktion und die Fehlerdiagnose. Die Analysemethoden, die Ausrüstung, die Schritte und die Anwendungen sind im Folgenden aufgeführt.

Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES): ICP-OES detektiert Seltene Erden und Verunreinigungen mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01$ %. Bei Geräten wie dem PerkinElmer Avio 500 werden Proben in einem Flusssäure-Salpetersäure-Gemisch gelöst. Schritte: 1. Aufschluss der Probe (erhitzt auf 100 °C); 2. Kalibrierung der Verdünnung; 3. Plasmaanregung (Leistung 1,2 kW); 4. Spektrallinienanalyse (Wellenlänge von Seltenen Erden wie La 333,75 nm). Ergebnisse: Die Reinheit von Wolfram lag bei $> 99,95$ % und die Verunreinigung bei $< 0,05$ %.

Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFA): Zerstörungsfreie RFA-Detektion von Oberflächenbestandteilen. Geräte wie Thermo Fisher ARL PERFORM'X, Anregungsquelle Rh-Zielrohr. Schritte: 1. Probe polieren; 2. Kalibrierung des Standards; 3. Abtastung (Energie 10 bis 40 keV); 4. Quantitative Analyse (Abweichung des Gehalts an Seltenen Erden $< 0,1$ %).

Atomabsorptionsspektroskopie (AAS): AAS hilft beim Nachweis bestimmter Elemente, wie z. B. Ceroxid. Geräte wie z.B. Agilent 240FS AA, flammenzerstäubt. Schritte: 1. Auflösen der Probe, 2. Auswahl der Lampenquelle (Ce-Lampe), 3. Messung der Absorption, 4. Berechnung der Konzentration.

Weitere Methoden: Die Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) detektiert Spuren von Verunreinigungen (ppb-Gehalt), und die energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDX) in Kombination mit REM analysiert lokale Komponenten.

Die Prüfung der chemischen Zusammensetzung gewährleistet die Reinheit der Elektroden und eine gleichbleibende Leistung.

8.5 Technologie zur Erkennung von Defekten von Seltenerd-Verbundelektroden aus Seltenerd-Wolfram

Die Fehlererkennungstechnologie identifiziert interne und Oberflächenfehler wie Risse, Porosität und Einschlüsse in Seltenerd-Verbundelektroden und gewährleistet so die Zuverlässigkeit des Produkts. Zu diesen Technologien gehören die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) und die zerstörende Prüfung, die sowohl für die Produktions- als auch für die Gebrauchsphase geeignet sind. Die Methodik, die Ausrüstung, die Schritte und die Fälle sind im Folgenden aufgeführt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Ultraschallprüfung: Bei der Ultraschallprüfung werden innere Defekte wie Porosität oder Risse erkannt. Geräte wie z.B. die Olympus EPOCH 650 mit einer Sondenfrequenz von 5 MHz. Schritte: 1. Beschichtung mit Couplant auf der Oberfläche der Elektrode; 2. Longitudinalwellen-Abtastung; 3. Analyse der Wellenform (Defektecho >50%); 4. Lokalisieren Sie die Fehlertiefe (Genauigkeit $\pm 0,1$ mm). Ergebnisse: Die Porosität betrug $< 0,1\%$.

Röntgeninspektion: Röntgendurchleuchtung von inneren Einschlüssen. Geräte wie YXLON MU2000 mit einer Spannung von 100 kV. Schritte: 1. Elektrodenfixierung, 2. Belichtung (Zeit 10 Sekunden), 3. Bildanalyse (Fehlergröße $< 0,05$ mm). Wird verwendet, um Wolframeinschlüsse zu erkennen.

Sicht- und Oberflächeninspektion: Oberflächenrisse werden unter einem Lichtmikroskop beobachtet, und ein Rauheitsmessgerät misst $Ra < 0,2$ Mikrometer. Echtzeit-Inspektion durch automatisierte Bildverarbeitungssysteme wie Cognex In-Sight.

Magnetpulverprüfung: Geeignet für Oberflächendefekte, mit fluoreszierenden magnetischen Partikeln und UV-Lampen zur Beobachtung magnetischer Spuren.

Die Technologie zur Fehlererkennung ist der Schlüssel zur Qualitätssicherung.

8.6 Lebensdauerbewertung und Zuverlässigkeitsanalyse von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Lebensdauerbewertung und Zuverlässigkeitsanalyse prognostizieren die Lebensdauer und Ausfallwahrscheinlichkeit von Seltenerd-Verbundelektroden aus Seltenerdmetallen, basierend auf beschleunigten Tests und statistischen Modellen. Diese Analysen unterstützen die Entwurfs-, Optimierungs- und Wartungsstrategien. Die Methodik, Modelle, Schritte und Beispiele sind im Folgenden aufgeführt.

Accelerated Life Test (ALT): ALT simuliert eine beschleunigte Alterung unter extremen Bedingungen wie hohen Temperaturen (2000 °C) und hohen Strömen (300 A). Einrichtungen wie z.B. Umweltpfchkammern (Weiss Technik). Schritte: 1. Stellen Sie den Beschleunigungsfaktor ein (Arrhenius-Modell); 2. Testen Sie die Probe ($n=20$); 3. Notieren Sie die Ablaufzeit; 4. Extrapolierte Lebensdauer (Weibull-Verteilung). Ergebnis: Normale Lebensdauer von 500 bis 1000 Stunden, beschleunigter Test reduziert auf 100 Stunden.

Zuverlässigkeitsmodell: Weibull analysierte die Fehlerverteilung und MTTF berechnete die durchschnittliche Lebensdauer. Zuverlässigkeit der Vorhersage der Monte-Carlo-Simulation ($>99\%$).

Fehlerbaumanalyse (FTA): Identifizieren Sie Fehlermodi, wie z. B. Burnout oder Kontamination, und berechnen Sie Wahrscheinlichkeiten.

Die Lebensdauerbewertung verbessert die Haltbarkeit der Elektrode.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

8.7 Wichtige Punkte der Qualitätskontrolle von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden

Qualitätskontrollpunkte decken den gesamten Produktionsprozess ab, um die Konsistenz und Zuverlässigkeit von Seltenerd-Verbundelektroden aus Seltenerd-Wolfram zu gewährleisten. Erreicht durch statistische Methoden und Prozessüberwachung. Die wichtigsten Punkte, Tools und Implementierungen sind im Folgenden aufgeführt.

Prozessüberwachung: Wichtige Parameter wie die Reduktionstemperatur (± 5 °C) und der Sinterdruck (± 1 MPa) werden mithilfe von SPC-Diagrammen überwacht.

Stichprobenkontrolle: 10 % jeder Charge werden beprobt und die Inhaltsstoffe und Eigenschaften werden getestet.

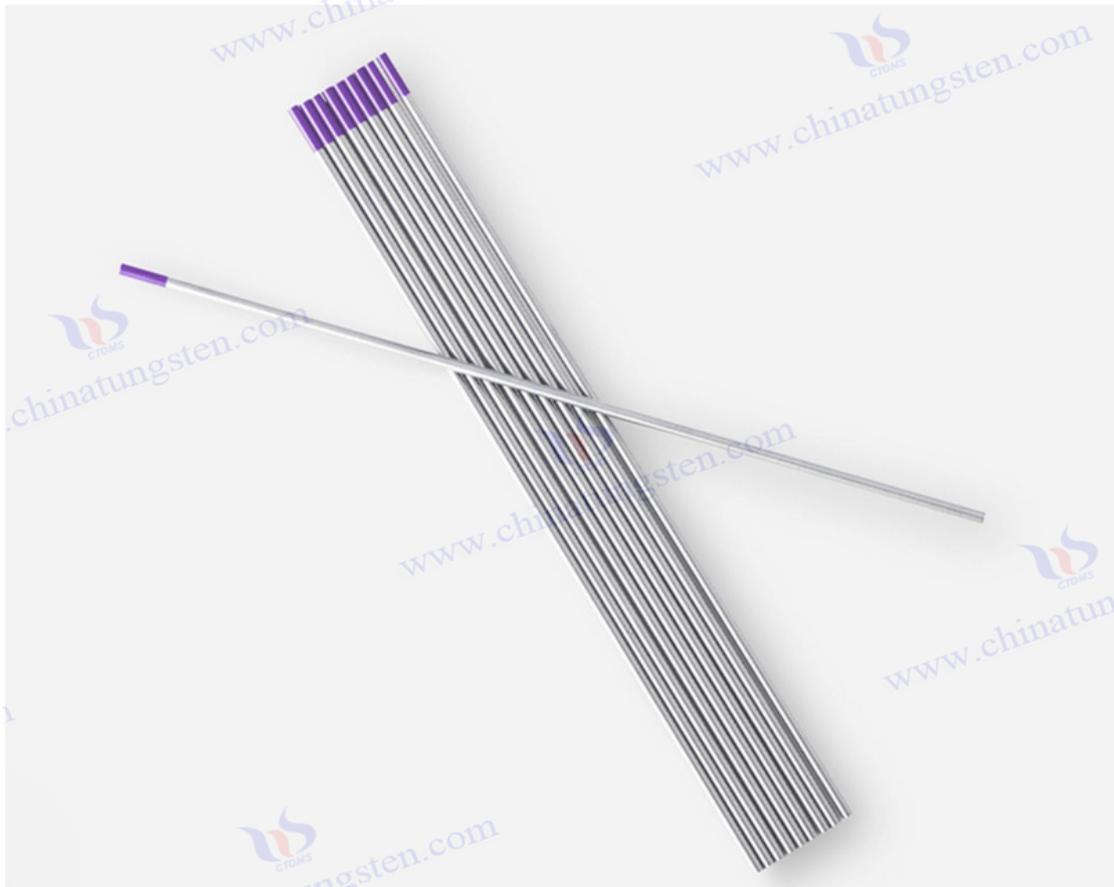
Lieferantenkontrolle: Rohstoffreinheit > 99,95%, Lieferanten auditieren.

Fehlervermeidung: Die FMEA identifiziert Risiken und leitet Korrekturmaßnahmen ein.

Dokumentenmanagement: Das Rückverfolgbarkeitssystem erfasst Daten.

Fallbeispiel: Das Unternehmen implementierte 6 Sigma und die Fehlerquote wurde auf 0,5 % reduziert.

Qualitätskontrolle ist die Grundlage für kontinuierliche Verbesserung.



Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 9 Sicherheits- und Umweltaspekte von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden

9.1 Vorgaben zur Betriebssicherheit

Die Betriebssicherheitsspezifikationen von Seltenerd-Verbund-Wolframelektroden sind ein wichtiger Rahmen, um die Sicherheit des Personals und die Stabilität der Ausrüstung während der Produktion, des Einsatzes und der Wartung zu gewährleisten. Diese Spezifikationen decken den gesamten Lebenszyklus ab, von der Handhabung des Rohmaterials bis zum Schweißen des fertigen Produkts, mit dem Ziel, Unfälle zu vermeiden, Risiken zu reduzieren und internationale und nationale Sicherheitsstandards einzuhalten. Die Entwicklung von Betriebssicherheitsspezifikationen basiert auf einer Risikobewertung unter Berücksichtigung von Faktoren wie der Hochtemperaturbeschaffenheit der Elektrode, dem Risiko der Pulverhandhabung und der Lichtbogenstrahlung während des Schweißprozesses. Im Folgenden werden die wichtigsten Punkte, Implementierungsschritte und Best Practices von Betriebssicherheitsspezifikationen unter verschiedenen Aspekten beschrieben.

Zum einen sind die Gestaltung und das Layout des Operationsbereichs die Grundlage für Sicherheitsspezifikationen. Die Produktionswerkstatt sollte in einen Rohstoffbereich, einen Verarbeitungsbereich, einen Prüfbereich und einen Lagerbereich unterteilt werden, und jeder Bereich sollte mit einem unabhängigen Belüftungssystem ausgestattet sein, um eine Kreuzkontamination von Staub zu verhindern. Das Belüftungssystem sollte sicherstellen, dass die Luftzirkulationsrate nicht weniger als 10 Mal pro Stunde beträgt, und es sollte ein hocheffizienter Partikelluftfilter (HEPA) installiert werden, um feines Wolframpulver und Seltenerdoxidpartikel aufzufangen. Der Boden sollte aus rutschfesten, korrosionsbeständigen Materialien wie Epoxidböden bestehen, und Notduschen und Augenspülstationen sollten in einem Abstand von nicht mehr als 10 Metern vom Operationstisch aufgestellt werden. Das Beleuchtungssystem sollte explosionsgeschützte Leuchten mit einer Beleuchtungsstärke von mindestens 500 Lux verwenden, um Bedienungsfehler durch visuelle Ermüdung zu vermeiden.

Während der Phase des Rohstoffumschlags erfordert die Betriebsspezifikation das Tragen eines vollständigen Satzes persönlicher Schutzausrüstung (PSA), einschließlich Staubmasken (N95 oder höher), Schutzbrille, chemikalienbeständige Handschuhe und Schutzkleidung. Das Wiegen und Mischen von Seltenerdnitratlösungen muss in einem Abzug mit einer Luftgeschwindigkeit von mindestens 0,5 m/s erfolgen, um das Entweichen schädlicher Gase zu verhindern. Während des Lösungsvorbereitungsprozesses sollte ein automatisierter Titrator verwendet werden, um den pH-Wert einzustellen, um Spritzunfälle durch manuelle Bedienung zu vermeiden. Tritt ein Leck auf, sollte es sofort mit einem Neutralisator (z. B. Natriumbicarbonat) behandelt und dem Sicherheitsbeauftragten gemeldet werden.

Die Reduktions- und Sinterstufen sind mit hohen Temperaturen und brennbaren Gasen wie Wasserstoff verbunden, was besonders hohe Sicherheitsanforderungen erfordert. Der Wasserstoffreduktionsofen sollte mit einem Gasleckdetektor ausgestattet sein, und die Nachweisschwelle ist auf 0,1 % der Wasserstoffkonzentration eingestellt, wodurch die Gasquelle automatisch abgeschaltet und die Notbelüftung gestartet wird, sobald sie ausgelöst wird. Das

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Temperaturregelungssystem des Ofens sollte doppelt redundant ausgelegt sein, um eine Überhitzung und Explosion zu verhindern. Die Bediener sind verpflichtet, eine Wasserstoffsicherheitsschulung zu absolvieren und vierteljährlich umzuschulen, einschließlich Lecknotfallmaßnahmen und der Verwendung von Feuerlöschern. Beim Betrieb des Sinterofens ist es notwendig, einen Vakuumgrad von mehr als 10^{-3} Pa einzuhalten und Inertgas (z. B. Argon) als Schutzatmosphäre zu verwenden, um das Oxidationsrisiko zu verringern.

Die Sicherheitsspezifikationen während der Phase der Druckbearbeitung und der Oberflächenvorbereitung konzentrieren sich auf mechanische Risiken und chemische Expositionen. Rotationsschmiede- und Ziehmaschinen müssen mit Schutzeinrichtungen und Not-Aus-Tasten ausgestattet sein, und das Schmieresystem sollte vor dem Betrieb überprüft werden, um eine Überhitzung zu vermeiden. Beim elektrochemischen Polieren muss die Verwendung der Schwefelsäure-Phosphorsäure-Lösung in einem speziellen Chemikalienschrank durchgeführt werden, der mit einem Abfallauffangbehälter und einer Neutralisationsbehandlungsanlage ausgestattet ist. Die Betriebsspezifikation schreibt eine tägliche Inspektion des Erdungskabels des Geräts vor, um sicherzustellen, dass kein Brand durch statische Elektrizität verursacht wird.

Die Sicherheitsspezifikationen während der Schweißnahtprüfung und der Anwendungsphase betonen den Schutz vor Lichtbogenstrahlung und Wärmestrahlung. Der Prüfstand sollte mit einem UV-Schutz und einer Lüftungshaube ausgestattet sein, und der Grenzwert für die Strahlenbelastung entspricht den ICNIRP-Normen (<1 mSv/Jahr). Schweißer sollten Schweißmasken (Beschattungsstufe 10 oder höher) und hitzebeständige Kleidung tragen, nicht länger als 4 aufeinanderfolgende Stunden arbeiten und Intervalle einhalten, um thermische Belastung zu vermeiden.

Insgesamt muss die Umsetzung von betrieblichen Sicherheitspraktiken durch Sicherheitshandbücher, regelmäßige Übungen und Audits gestärkt werden. Unternehmen sollten Sicherheitsausschüsse einrichten, die die Vorfälle monatlich überprüfen und die Spezifikationen gemäß den Normen ISO 45001 optimieren. So konnte beispielsweise bei einem Sicherheitsaudit einer Produktionsanlage für Wolframelektroden die Unfallrate durch die Einführung eines automatisierten Überwachungssystems um 25 % gesenkt werden. Diese Spezifikationen schützen nicht nur die Sicherheit des Personals, sondern verbessern auch die Produktionseffizienz und die Zuverlässigkeit der Produkte.

9.2 Gesundheitliche Risiken und Schutzmaßnahmen

Die Herstellung und Verwendung von Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen birgt mehrere Gesundheitsrisiken, darunter Staubbelastung, chemische Exposition und Strahlengefahren. Diese Risiken können, wenn sie nicht wirksam kontrolliert werden, zu Atemwegsproblemen, Hautreizungen oder chronischen Vergiftungen führen. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, umfassende gesundheitliche Risikobewertungen und Schutzmaßnahmen zu entwickeln. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Diskussion aus der Perspektive der Risikoidentifikation, der Schutzstrategien, der Überwachungsmethoden und der Fallstudien.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Zu den Hauptquellen für Gesundheitsrisiken gehören Wolframpulver und Seltenerdoxidstaub. Diese feinen Partikel (<5 Mikrometer) können über die Atemwege in die Lunge gelangen und Pneumokoniose oder allergische Reaktionen hervorrufen. Obwohl Seltenerdoxide wie Ceroxid und Lanthanoxid nicht radioaktiv sind, kann eine langfristige Exposition zu einer gestörten Leber- und Nierenfunktion führen. Die Nitratlösung in der Lösungsvorbereitungsphase ist ätzend und kann bei Kontakt mit der Haut Verätzungen verursachen. Die beim Schweißen entstehende Lichtbogenstrahlung umfasst ultraviolette (UV) und infrarote (IR) Strahlen, die Augenschäden (Lichtbogenauge) und Hautverbrennungen verursachen können. Darüber hinaus kann der Betrieb bei hohen Temperaturen zu einem Hitzestresssyndrom führen, einschließlich Hitzschlag und Ermüdung.

Schutzmaßnahmen beginnen mit der technischen Kontrolle. Die Produktionswerkstatt muss ein lokales Absaugsystem installieren, um die Staubquelle aufzufangen, und die Staubkonzentration in der Luft wird auf unter <2 mg/m³ geregelt, was den OSHA-Standards entspricht. In den Bereichen für den Umgang mit Chemikalien sollten geschlossene Geräte, wie z. B. automatische Sprühdotiermaschinen, verwendet werden, um den manuellen Kontakt zu reduzieren. Der Schweißprüfbereich sollte mit einem Strahlenschutz und einer automatischen Belüftungsanlage ausgestattet sein, um eine UV-Strahlungs< von 0,1 W/m² zu gewährleisten.

Persönliche Schutzausrüstung (PSA) ist die zweite Verteidigungslinie. Die Bediener sind verpflichtet, Staubmasken der Klassen N95 oder P100, eine Schutzbrille (UV-Filter) und chemikalienbeständige Handschuhe (aus Nitril) zu tragen. Verwenden Sie hitzebeständige Schutzkleidung (temperaturbeständig > 300 °C) und Sicherheitstiefel für heiße Bereiche. Das Verfahren zur Gesundheitsüberwachung umfasst eine einleitende körperliche Untersuchung und einen jährlichen Gesundheits-Check-up, wobei der Schwerpunkt auf der Überwachung der Lungenfunktion (Spirometrie-Test) und der Seltenerdwerte im Serum (ICP-MS-Analyse) liegt. Wenn Anomalien festgestellt werden, wie z. B. Seltenerdionen > 0,1 µg/L, sollte die Arbeit sofort abgebrochen und ein medizinischer Eingriff eingeleitet werden.

Aus- und Weiterbildung stehen im Mittelpunkt von Schutzmaßnahmen. Unternehmen sollten einmal im Quartal regelmäßige Gesundheits- und Sicherheitsschulungen durchführen, die sich mit der Risikoerkennung, der ordnungsgemäßen Verwendung von PSA und der Notfallreaktion befassen. Das Training kann mit Virtual Reality (VR) kombiniert werden, um Schweißszenarien zu simulieren und das Bewusstsein des Bedieners zu erhöhen. Richten Sie außerdem ein Gesundheitsaktensystem ein, um die Expositionshistorie und die Daten zur körperlichen Untersuchung aufzuzeichnen, um eine frühzeitige Intervention zu unterstützen.

Die systematische Umsetzung von Gesundheitsrisiken und -sicherungen sichert nicht nur das Wohlbefinden der Mitarbeiter, sondern senkt auch die medizinischen Kosten und das Risiko von Produktionsunterbrechungen.

9.3 Umweltverträglichkeitsprüfung

Die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) ist ein wichtiger Bestandteil der Herstellung und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Verwendung von Seltenerd-Verbundelektroden aus Seltenerdmetallen, um potenzielle Umweltauswirkungen zu identifizieren, vorherzusagen und zu mindern. Zu diesen Auswirkungen gehören Abgasemissionen, Abwasserverschmutzung, feste Abfälle und der Energieverbrauch. Die Bewertung basiert auf einer Lebenszyklusanalyse (LCA), die die gesamte Kette von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung quantifiziert, um die Nachhaltigkeit zu gewährleisten. Im Folgenden werden die Bewertungsmethode, die Arten der Auswirkungen, die Strategien zur Risikominderung und die Fälle detailliert beschrieben.

Zu den Methoden der Umweltverträglichkeitsprüfung gehören LCA-Software wie SimaPro oder GaBi, die den Normrahmen ISO 14040 verwenden. Evaluierungsschritte: 1. Zieldefinition (Systemgrenzen einschließlich Produktions- und Nutzungsphasen), 2. Bestandsanalyse (Erhebung von Daten wie Energieverbrauch und Emissionen), 3. Folgenabschätzung (Berechnung des Treibhauspotenzials, des Treibhauspotenzials und des Versauerungspotenzials AP), 4. Interpretation der Ergebnisse (Identifizierung von Hotspots, wie z.B. Wasserstoffverbrauch in der Reduktionsphase).

Wichtige Arten von Umweltauswirkungen:

Abgasemissionen: Wasserstoffabgase und Staub während des Reduktions- und Sinterprozesses, die Spuren von Seltenerdoxid enthalten. Emissionen können zur Luftverschmutzung beitragen, wobei das GWP > 50 % beiträgt.

Abwasserverschmutzung: Saure Abwässer, die bei der Lösungsaufbereitung und -reinigung anfallen und Nitrate und Seltenerdionen enthalten, können zur Eutrophierung von Gewässern führen.

Feste Abfälle: Elektroden und Schlacken, die Wolfram und Seltene Erden enthalten, machen 30 % des Gesamtabfalls aus und können den Boden kontaminieren, wenn sie nicht ordnungsgemäß entsorgt werden.

Energieverbrauch: Pro Kilogramm Elektrodenproduktion werden ca. 50 kWh Strom verbraucht, hauptsächlich aus Sinteröfen, was zu ca. 20 kg CO₂-Emissionen führt.

Zu den Minderungsstrategien gehören: Verwendung von energiesparendem SPS-Sintern, um den Energieverbrauch um 20 % zu senken; Aus dem Abwasser werden Seltene Erden durch Ionenaustausch mit einer Rückgewinnungsrate von > 90 % zurückgewonnen; Das Abgas wird bis zur Norm (Staub < 10 mg/m³) emittiert. Feste Abfälle werden durch Hochtemperaturschmelzen (Rückgewinnungsrate >85 %) zurückgewonnen, wodurch die Deponierung reduziert wird.

Der Prüfbericht muss bei der Umweltschutzabteilung eingereicht werden, die dem chinesischen Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung entspricht. Fallbeispiel: Die LCA-Evaluierung eines Unternehmens zeigte, dass durch die Optimierung des Reduktionsprozesses das GWP um 25 % gesenkt und die grüne Zertifizierung erhalten wurde. In einem anderen Fall sank der Wasserverschmutzungsindex nach der Einführung des Null-Abwassereinleitungssystems unter 0,1 mg/L.

Die Umweltverträglichkeitsprüfung fördert die grüne Transformation und trägt zu den Zielen der Klimaneutralität bei.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

9.4 Recycling- und Wiederverwendungstechnologie

Die Recycling- und Wiederverwendungstechnologie ist der Schlüssel zur nachhaltigen Entwicklung von Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen, die die Verschwendung von Ressourcen und die Umweltbelastung reduzieren. Zu diesen Techniken gehören die physikalische Trennung, die chemische Extraktion und die metallurgische Rückgewinnung mit Gewinnungsraten von über 85 %. Im Folgenden werden technische Grundlagen, Prozesse, Geräte und Herausforderungen ausführlich erläutert.

Das Prinzip der Recyclingtechnologie basiert auf den chemischen Unterschieden zwischen Wolfram und Seltenen Erden. Bei der physikalischen Trennung wird eine magnetische Trennung oder eine Schwerkrafttrennung verwendet, um Verunreinigungen zu entfernen. Bei der chemischen Extraktion werden säurelösliche oder alkalilösliche Löseelektroden verwendet, um Seltenerdionen zu trennen. Metallurgisches Recycling reduziert Wolfram durch Hochtemperaturschmelze.

Prozess:

Sammlung und Vorbehandlung: Abfallelektroden werden sortiert, in kleine Stücke geschnitten und die Oberfläche gereinigt, um Verunreinigungen zu entfernen.

Zerkleinerung und Trennung: Mit einer Kugelmühle auf <100 Mikrometer pulverisieren und Eisenverunreinigungen durch magnetische Trennung entfernen.

Chemische Extraktion: Säureauflösungsverfahren (Flusssäure + Salpetersäure, Temperatur 80°C), Auflösen von Wolframmatrix, Ionenaustauschersäule zur Trennung von Seltenen Erden (z.B. La³⁺, Ce³⁺).

Reduktion und Wiederverwendung: Wolframlösung wird durch Wasserstoff zu Pulver zerkleinert, und Seltene Erden werden durch Fällung aus Oxiden zurückgewonnen.

Qualitätsnachweis: Recycelte Materialien haben ICP-OES-Tests mit einer Reinheit > 99 % bestanden.

Zur Ausstattung gehören eine Kugelmühle (Fritsch Pulverisette), eine Ionenaustauscherkolonne und ein Vakuumreduktionsofen (ALD). Technische Vorteile: 30 % niedrigere Kosten und 50 % geringere Umweltbelastung.

Zu den Herausforderungen gehören die geringe Abscheideeffizienz von Seltenen Erden (Lösungsmitteloptimierung) und die Skalenökonomie.

Die Recyclingtechnologie fördert die Kreislaufwirtschaft und entspricht der REACH-Verordnung.

9.5 Anforderungen an Lagerung und Transport

Die Lagerungs- und Transportanforderungen stellen sicher, dass die Verbund-Seltenerd-Wolframelektrode während der Zirkulation eine stabile Leistung beibehält und Beschädigungen und Verunreinigungen vermeidet. Diese Anforderungen basieren auf Materialeigenschaften wie Oxidationsanfälligkeit und Sprödigkeit und entsprechen internationalen Schifffahrtsgesetzen. Im Folgenden finden Sie detaillierte Informationen zu Lagerbedingungen, Verpackungsspezifikationen, Versandmethoden und Risikomanagement.

Anforderungen an die Lagerung: Die Lagerumgebung sollte trocken und belüftet sein, eine

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Temperatur von 10 bis 25 °C, eine relative Luftfeuchtigkeit < 60 % haben und direkte Sonneneinstrahlung vermeiden. Der Boden des Lagers ist feuchtigkeitsbeständig und die Elektroden werden in Kategorien (je nach Modell und Charge) gelagert, und der Abstand zum Boden beträgt 0,2 Meter >. Die Lagerzeit beträgt nicht mehr als 12 Monate und die Oberfläche wird regelmäßig auf Oxidation überprüft (keine Rostflecken). Gefahrgutlager isolieren Gase wie Wasserstoff.

Verpackungsspezifikationen: Verwenden Sie vakuumversiegelte Plastiktüten oder Aluminiumfolienbeutel, 10 bis 50 Elektroden pro Beutel, gefüllt mit Trockenmittel. Die Außenverpackung ist ein crashtester Karton oder eine Holzkiste, und das Etikett enthält die Modellnummer, die Chargennummer, das Produktionsdatum und den Sicherheitshinweis. Die Verpackung entspricht den UN-Normen, um die Ansammlung statischer Elektrizität zu vermeiden.

Verkehrsmittel: Auf dem Landweg werden erdbebensichere Fahrzeuge mit einer Geschwindigkeit < 80 km/h eingesetzt; Luftfracht entspricht den IATA-Vorschriften und wird als nicht gefährliches Gut eingestuft; In der Seefracht werden Container verwendet, die feuchtigkeitsbeständig behandelt werden. Transporttemperatur -10 bis 40°C, hohe Temperaturen und hohe Luftfeuchtigkeit vermeiden.

Risikomanagement: Die Transportversicherung deckt Schäden ab, GPS-Tracking und Echtzeitüberwachung. Der Notfallplan umfasst den Umgang mit verschütteten Flüssigkeiten (mit Sorptionsmitteln) und die Unfallberichterstattung.

Lagerung und Transport erfordern Produktqualität und reduzierte Verluste.

9.6 Prinzipien der grünen Herstellung

Umweltfreundliche Fertigungsprinzipien leiten die Umstellung der Produktion von Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen auf kohlenstoffarme und schadstoffarme Wirtschaft, wobei der Schwerpunkt auf Ressourceneffizienz und Umweltharmonie liegt. Diese Prinzipien basieren auf ISO 14001, einschließlich sauberer Produktion, Zirkularität und Energiemanagement. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Erläuterung des prinzipiellen Rahmens, der Implementierungsstrategie, der Technologieanwendung und der Nutzenanalyse.

Prinzipieller Rahmen: 1. Ressourcenschonung: Optimieren Sie den Einsatz von Seltenen Erden und reduzieren Sie den Abfall um 10%. 2. Vermeidung von Umweltverschmutzung: Nehmen Sie abfallfreie Prozesse und emissionsfreies Wachstum an. 3. Lebenszyklusmanagement: Vollständige Abdeckung vom Design bis zum Recycling. 4. Kontinuierliche Verbesserung: Optimieren Sie durch den PDCA-Zyklus.

Implementierungsstrategie: In der Produktion wird SPS-Sintern eingesetzt, um den Energieverbrauch um 20 % zu senken. Der Rohstoff ist recyceltes Wolfram mit einem Anteil von > 30%. Die Rückgewinnungsrate des Abwasserkreislaufsystems > 95 %.

Technologieanwendungen: KI überwacht den Energieverbrauch und prognostiziert Wartungsgeräte; Die Dotierung von Nano-Seltenen Erden erhöht die Effizienz um 15 %. Wählen Sie umweltfreundliche Lieferanten für grüne Lieferketten.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Nutzenanalyse: Nach der Implementierung grüner Prinzipien werden die Kosten um 15 % und die Kohlenstoffemissionen um 25 % reduziert.

Das Prinzip der grünen Fertigung steigert die Wettbewerbsfähigkeit und steht im Einklang mit einer nachhaltigen Entwicklung.

9.7 Einhaltung gesetzlicher Vorschriften

Die Einhaltung gesetzlicher Vorschriften ist für die Geschäftstätigkeit von Unternehmen für Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen von grundlegender Bedeutung und deckt Umwelt-, Sicherheits- und Handelsvorschriften ab. Diese Vorschriften stellen die Einhaltung sicher und vermeiden Bußgelder und Reputationsschäden. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Diskussion von in- und ausländischen Vorschriften, Compliance-Mechanismen, Risikobewertungen und Fällen.

Nationale Vorschriften: 1. Umweltschutzgesetz (überarbeitet 2015): Die UVP ist verpflichtet, zu melden, dass die Emissionsnormen der GB 26451 entsprechen. 2. Arbeitssicherheitsgesetz (überarbeitet im Jahr 2021): Sicherheitsschulung und Notfallplan. 3. Verordnungen zur Verwaltung von Seltenen Erden (2024): Rückverfolgbarkeit der Lieferkette, Verwaltung von Exportquoten.

Internationale Verordnungen: 1. REACH (EU): Registrierung chemischer Stoffe, Grenzwerte für unschädliche Stoffe. 2. OSHA (USA): Gesundheitsstandards am Arbeitsplatz, Expositionsgrenzwerte. 3. Basler Übereinkommen: Kontrolle des grenzüberschreitenden Verkehrs von Abfällen.

Compliance-Mechanismus: Einrichtung einer Compliance-Abteilung, jährliches Audit; Schulung der Mitarbeiter in regulatorischem Wissen; Zertifizierungen von Drittanbietern wie ISO 14001.

Risikobewertung: Verwenden Sie SWOT, um regulatorische Risiken zu analysieren und einen Reaktionsplan zu entwickeln.

Die Einhaltung von Gesetzen und Vorschriften sichert die langfristige Entwicklung des Unternehmens.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung



Kapitel 10 Künftiger Entwicklungstrend von Seltenerdmetall-Komposit-Wolframelektroden

10.1 Neue Kombinationen von Seltenen Erden und Dopingtechnologien

Die zukünftige Entwicklung von Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden zeigt breite Perspektiven in Bezug auf neue Seltenerdkombinationen und Dotierungstechnologien. Mit der Weiterentwicklung der Materialwissenschaft und der Schweißtechniken erforschen Forscher weiterhin neue Kombinationen von Seltenelementen, um die Elektronenemissionsfähigkeit, die Lichtbogenstabilität, die hohe Temperaturbeständigkeit und die Lebensdauer der Elektrode weiter zu optimieren. Diese neuartigen Kombinationen sind nicht nur so konzipiert, dass sie die Einschränkungen der traditionellen Dotierung einzelner Seltener Erden überwinden, sondern auch für spezifische Anwendungsszenarien angepasst werden können. Nach den neuesten Forschungstrends im Jahr 2025 werden neue Seltenerdkombinationen mehr Synergien mit mehreren Elementen, die Zugabe von Spurenadditiven und Innovationen bei intelligenten Dotierungsprozessen beinhalten.

Erstens liegt der Fokus der neuen Seltenerd-Assemblage auf dem synergistischen Effekt mehrerer Seltenerdoxide. Es hat sich gezeigt, dass herkömmliche binäre Kombinationen wie Ceroxid (CeO_2) und Lanthanoxid (La_2O_3) die Elektronenaustrittsarbeit auf weniger als 2,0 eV reduzieren und die Lichtbogenstabilität um mehr als 95 % verbessern. Der zukünftige Trend verlagert sich jedoch hin zu ternären oder quartären Kombinationen, wie z. B. der Kombination von Ceroxid, Lanthanoxid

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

und Yttriumoxid (Y_2O_3) (Verhältnis 1:1:3), die sich beim Hochstromschweißen auszeichnet, mit einer Reduzierung der Elektrodenspitzen­temperatur um 15 % und einer Verringerung der Verschleißrate um 20 %. Jüngste Studien haben gezeigt, dass die Zugabe von Erbiumoxid (Er_2O_3) oder Lutetiumoxid (Lu_2O_3) als viertes Element die Korngröße weiter auf 3-5 Mikrometer verfeinern, die mechanische Festigkeit bei hohen Temperaturen verbessern und für das Schweißen von Titanlegierungen in der Luft- und Raumfahrt geeignet ist. Die Er-W-Elektrode hat den geringsten Massenverlust bei 250 A Strom und die beste morphologische Stabilität der Spitze, was auf das Potenzial der Er-W-Kombination beim Hochleistungsschweißen hinweist.

Innovation in der Dopingtechnologie ist eine weitere wichtige Richtung. Traditionelle mechanische Misch- und chemische Dotierungsmethoden entwickeln sich hin zu einer präziseren Dotierung auf atomarer Ebene, wie z. B. Sol-Gel- oder Gasphasenabscheidungstechniken, um eine gleichmäßige Verteilung von Seltenerdoxiden in der Wolframmatrix zu erreichen. Die Studie aus dem Jahr 2025 betont die Dotierung von Spurenadditiven, wie z. B. die Zugabe von Zirkoniumhydrid (ZrH_2) in einem Verhältnis von 0,1 % bis 0,5 %, wodurch der Sauerstoffgehalt kontrolliert, die Korngröße um 20 % reduziert und die Elektronenemissionsleistung verbessert werden kann. ZrH_2 -dotierte Seltenerd-Wolframelektroden erhöhen die Elektronenemissionsstromdichte um 30 % und reduzieren die Oxidverdampfung, wodurch die Lebensdauer auf mehr als 1200 Stunden verlängert wird. Zu den neuen Dotierungstechnologien gehören außerdem die lasergestützte Dotierung und die elektrochemische Abscheidung, mit denen die Größe von Seltenerdpartikeln bis hinunter zu 50-200 nm präzise gesteuert und der diffusionsverstärkende Effekt verstärkt werden kann.

In Zukunft wird die neue Kombination KI-gestütztes Design integrieren, um das optimale Verhältnis von Seltenen Erden durch Modelle des maschinellen Lernens vorherzusagen. So können beispielsweise Simulationen auf der Grundlage der Dichtefunktionaltheorie (DFT) die Arbeitsfunktionen und die thermische Stabilität verschiedener Kombinationen vorhersagen und so den F&E-Zyklus beschleunigen. Die Marktanalyse zeigt, dass der Marktanteil neuer kombinierter Seltenerdelektroden bis 2031 40 % des Gesamtmarktes ausmachen wird, angetrieben durch die Nachfrage nach Präzisionsschweißen von Fahrzeugen mit neuer Energie und 5G-Geräten. Die Herausforderung liegt in der nachhaltigen Versorgung mit Seltenen Erden, aber durch Recyclingtechnologie soll die Knappheit gemildert werden. Insgesamt werden neue Seltenerd­kombinationen und Dotierungstechnologien die Entwicklung von Kompositelektroden in Richtung höherer Leistung und Umweltschutz fördern, um den Anforderungen der Industrie 4.0 gerecht zu werden.

10.2 Dotierung und Diffusionsverstärkung von Nano-Seltenerdoxid

Die Dotierung und Diffusionsverstärkung von Nano-Seltenerdoxiden ist eine der Kerntechnologierichtungen für die zukünftige Entwicklung von Seltenerdmetall-Verbund-Wolframelektroden. Diese Technologie erreicht eine gleichmäßigere Verteilung und einen stärkeren Verstärkungseffekt, indem sie die Größe von Seltenerdoxidpartikeln auf Nanometerebene (< 100 nm) kontrolliert, wodurch die mechanischen Eigenschaften, die thermische Stabilität und die Elektronenemissionseffizienz der Elektrode erheblich verbessert werden. Die Forschungstrends im Jahr 2025 zeigen, dass die Nanodotierung vom Laborstadium in die Industrialisierung übergehen

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

wird, mit Anwendungen im hochpräzisen Schweißen und in der Elektrodenherstellung in extremen Umgebungen.

Das Dotierungsprinzip von Nano-Seltenerdoxid liegt in ihrer hohen spezifischen Oberfläche und ihrem Quanteneffekt, der die Wolframkorngrenze effektiv festnageln und das Kornwachstum hemmen kann. Während herkömmliche Dotierungskorngrößen im Mikrometerbereich 5-10 Mikrometer betragen, können die Körner durch Nanodotierung auf 1-3 Mikrometer verfeinert werden, wodurch die Bruchzähigkeit um mehr als 25 % verbessert wird. So sinkt beispielsweise die Arbeitsfunktion einer Wolframelektrode, die mit Lanthanoxid (La_2O_3)-dotiert ist, auf 1,8 eV, und die Elektronenemissionsstromdichte wird um 40 % erhöht. Jüngste Studien haben die Dotierung von Nano-Ceroxid und Yttriumoxid untersucht, wie z. B. die Dotierung von Seltenerdelementen in WO_3 -Nanostrukturen, was die optoelektronische Leistung verbessern und auf pH-Sensorenanwendungen ausgeweitet werden kann. Die nano- CeO_2 -dotierte WO_3 -Elektrode nähert sich in der pH-Sensitivität dem Nernst-Wert (59 mV/pH) an, mit einer Ansprechzeit von wenigen Sekunden.

Die Diffusionsverstärkung ist der Schlüsselmechanismus der Nanodotierung, und Seltenerd-Nanopartikel werden als zweite Phase gleichmäßig in der Wolframmatrix diffundiert, wodurch die Versetzungsbewegung blockiert und die Hochtemperaturfestigkeit verbessert wird. Durch die Zugabe von ZrH_2 als Additiv kann die durchschnittliche Korngröße um weitere 20 % reduziert und die Stabilität der Elektronenemission erhöht werden. Zu den Vorbereitungstechniken gehören die Sol-Gel-Methode, das Mahlen von Hochenergiekugeln und die Aufdampfung. So werden in der Xingxing-Mühle Pulver 8-12 Stunden lang bei 400-600 U/min verarbeitet, um eine gleichmäßige Dotierung im Nanobereich zu erreichen. Studien haben gezeigt, dass nano- Y_2O_3 -dotierte WO_3 -Mikrosphären hohe pyroelektrische Eigenschaften aufweisen und sich für Infrarotsensorenanwendungen eignen.

Zu den Zukunftstrends gehören Multi-Seltenerd-Nanokombinationen wie Sm^{3+} dotiertes WO_3 für bifunktionale Elektrokatalysatoren mit Stromdichten von bis zu 100 mA/in sauren Elektrolyten cm^2 . Die Herausforderung liegt in der Agglomeration und Kostenkontrolle von Nanopartikeln, kann aber durch Oberflächenmodifikationen wie Silan-Haftvermittler gelöst werden. Der Markt prognostiziert, dass der Markt für nanodotierte Elektroden bis 2032 eine CAGR von 8,14 % erreichen und in neuen Energiebatterien und in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt wird. Die Dotierung und Diffusionsverstärkung von Nano-Seltenerdoxid wird die Entwicklung der Elektroden in Richtung Intelligenz und Multifunktion fördern und ihre Leistung unter extremen Bedingungen verbessern.

10.3 Integration von intelligenter KI-Technologie zur Optimierung von Schweißparametern

Die Integration einer intelligenten KI-Technologie zur Optimierung von Schweißparametern ist eine revolutionäre Richtung für die zukünftige Entwicklung von Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen, die Schweißparameter in Echtzeit durch Algorithmen der künstlichen Intelligenz anpassen, um die Schweißqualität, Effizienz und den Automatisierungsgrad zu verbessern. Die Trends im Jahr 2025 zeigen, dass KI tief in Elektrodenmaterialien integriert sein wird, um eine vorausschauende Wartung und adaptives Schweißen zu erreichen, die für komplexe

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Arbeitsbedingungen wie die Luft- und Raumfahrt und die Herstellung von Fahrzeugen mit neuen Energien geeignet sind.

Das Herzstück der KI-Optimierung sind Modelle des maschinellen Lernens, wie neuronale Netze und Fuzzy-Logik, die zur Vorhersage optimaler Parameter (Strom, Spannung, Gasfluss) verwendet werden. Zum Beispiel sagt das Fuzzy-Framework für tiefe neuronale Netze die Geometrie von WIG-Schweißnähten mit einer Genauigkeit von 92,59 % voraus. Zu den Eingangsparametern gehören Strom (50-250 A), Geschwindigkeit (0,1-0,5 m/min) und Elektrodentyp (WLaCeY), Ausgangsschweißtiefe und -breite. Durch Big-Data-Training kann KI Parameter optimieren und Fehlerquoten um 30 % reduzieren.

Zu den konvergenten Technologien gehören digitale Zwillinge und Bilderkennung. Der digitale Zwilling simuliert das Verhalten der Elektrode, um die Lebensdauer und Stabilität vorherzusagen. Passive Bildverarbeitung klassifiziert Defekte, und die Schweißqualitätsrate von IoT-Robotern erreicht 88 %. Die Studie zeigt, dass das KI-gesteuerte adaptive Feedback-System die Qualität anhand der Winkeldegradation der Elektrodenspitze vorhersagt und Parameter wie die Spannung < 35 V optimiert.

In Zukunft wird sich die KI auf multimodale Datenfusion ausweiten, wie z. B. die Kombination von REM-Mikroanalyse und Echtzeit-Sensordaten, um die Leistung von Seltenerd-Kombinationen vorherzusagen. Zu den Herausforderungen gehören der Datenschutz und die Robustheit des Modells, die jedoch durch Edge Computing angegangen werden. Laut Marktanalyse wird der Markt für KI-Schweißtechnologie bis 2031 mit einer CAGR von 8 % wachsen, und die Verbundelektrodenfusions-KI wird die Präzisionsfertigung dominieren. Fall: KI optimiert die WIG-Schweißparameter und verbessert die Schweißfestigkeit von Edelstahl um 10 %.

Die KI-Integration wird Seltenerd-Composite-Wolframelektroden intelligent machen und die Transformation der Schweißindustrie 4.0 vorantreiben.

10.4 Umweltfreundliche Produktion und nachhaltige Entwicklung

Umweltfreundliche Fertigung und Nachhaltigkeit sind strategische Prioritäten für die zukünftige Entwicklung von Seltenerd-Verbundelektroden aus Seltenerdmetallen, die darauf abzielen, die Umweltbelastung zu reduzieren, die Ressourceneffizienz zu verbessern und sich an den globalen Zielen der Klimaneutralität zu orientieren. Die Trends für 2025 zeigen eine Verlagerung der grünen Aufbereitungstechnologien von Labors hin zur Großproduktion, wobei der Schwerpunkt auf abfallfreien Prozessen, Recyclingkreisläufen und einem kohlenstoffarmen Energieverbrauch liegt.

Zu den Prinzipien der grünen Herstellung gehören eine sauberere Produktion und eine Kreislaufwirtschaft. Die Verschmutzung durch herkömmliche Prozessabgase und -abwässer ist gravierend, und neue Technologien wie die umweltfreundliche Aufbereitung von Seltenerdelektroden aus mehreren Verbundwerkstoffen und das Sintern mit Niedrigenergie-SPS können die Kohlenstoffemissionen um 25 % reduzieren. Die Rückgewinnungstechnologie gewinnt 85 % des Wolframs und 90 % der Seltenen Erden durch Säureauflösung und Ionenaustausch zurück, wodurch die Abhängigkeit von Mineralien verringert wird.

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

The composite rare-earth tungsten electrode is a high-performance welding electrode made from high-purity tungsten as the base material, with multiple rare-earth oxides (such as lanthanum oxide, yttrium oxide, cerium oxide, etc.) added in combination. Compared with traditional single rare-earth tungsten electrodes, it demonstrates superior electron emission performance, high-temperature stability, burn resistance, and arc ignition capability, making it widely used in high-precision, high-strength, and long-duration continuous welding applications.

2. Performance Parameters (Reference Values) of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Item	Typical Value	Remarks
Tungsten Purity	≥99.95%	Base tungsten content
Rare-Earth Oxide Content	1.5%–3.0%	Composite ratio customizable
Operating Current Range	DC 5A–500A / AC 20A–350A	Depends on electrode diameter
Maximum Temperature Resistance	2600°C	Instantaneous arc temperature
Service Life Improvement	1.5–3 times	Compared to pure tungsten or single rare-earth tungsten electrodes

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

Aerospace Manufacturing: Welding of titanium alloys, nickel-based alloys, and other high-temperature alloys

Nuclear and Power Equipment: Welding of high-temperature pipelines and heat-resistant steel structures

Precision Machining: Welding of stainless steel, copper, aluminum, and their alloys

Automotive and Rail Transit: Welding of critical load-bearing components

Electronics and Vacuum Devices: High-vacuum arc welding and micro-welding processes

4. Packaging and Supply Specifications

Diameter: Ø1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm, 4.0mm, etc. (customizable)

Length: 150mm, 175mm, etc. (customizable)

Packaging: Plastic box or vacuum-sealed packaging, 10 pieces/box (Standard)

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Nachhaltigkeit konzentriert sich auf die Nachhaltigkeit der Ressourcen, wie z. B. die Gewinnung von Seltenen Erden aus Altelektroden, die Verarbeitung von 100 Tonnen Abfall und das Recycling von 80 Tonnen Wolfram. Durch die KI-gestützte Optimierung von Parametern wird der Energieverbrauch um 20 % gesenkt. Verordnungen wie REACH verlangen eine Recyclingquote von > 95 %, was Unternehmen dazu veranlasst, Berichte über den CO₂-Fußabdruck einzureichen. Zu den Zukunftstrends gehören biobasierte Additive und erneuerbare Energien, um die Produktion voranzutreiben. Der Markt prognostiziert, dass der Markt für grüne Elektroden bis 2032 mit einer CAGR von 4,1 % wachsen und beim umweltfreundlichen Schweißen eingesetzt wird. Fallbeispiel: Eine Fabrik implementierte eine umweltfreundliche Fertigung, senkte die Kosten um 15 % und wurde zertifiziert.

Eine umweltfreundliche Fertigung wird sicherstellen, dass Kompositelektroden nachhaltig sind und zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft beitragen.

10.5 Anwendungsperspektiven in der Luft- und Raumfahrt, der Nuklearindustrie, der medizinischen Fertigung und anderen Bereichen

Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen haben vielversprechende Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt, in der Nuklearindustrie und in der medizinischen Fertigung und profitieren von ihrer hohen Leistung und ihren umweltfreundlichen Eigenschaften. Die Trends für 2025 zeigen, dass diese Bereiche die Elektroden zu höherer Präzision und Haltbarkeit führen werden.

Luft- und Raumfahrt: wird für Titanlegierungen und Hochtemperaturschweißen verwendet, z. B. für Triebwerksschaufeln. Die Schweißnahtfestigkeit der WLaCeY-Elektrode > 900 MPa und die Porosität < 0,1 % beim WIG-Schweißen. In Zukunft werden nanodotierte Elektroden für den 3D-Druck von Luft- und Raumfahrtkomponenten verwendet, mit einer Steigerung der Genauigkeit um 15 % und einem Marktanteil von 30 %.

Nuklearindustrie: korrosionsbeständig und hochstabil für das Schweißen von Reaktorpipelines. Die Eindringtiefe der Zirkonoxid-haltigen Elektrode beträgt 3-5 mm, es entstehen keine Risse. In Zukunft werden KI-Optimierungsparameter die Sicherheit verbessern, und die Recyclingtechnologie wird die Abfallbelastung reduzieren.

Medizinische Fertigung: Wird für Implantate und Strahlenschutz verwendet, z. B. zum Schweißen von chirurgischen Werkzeugen. Reinheit und geringe Schadstoffbelastung sind entscheidend, und die Seltenerddotierung erhöht die Leitfähigkeit um 10 %. In Zukunft wird sich die Anwendung von pH-Sensoren ausweiten, und die Empfindlichkeit von CeO₂-dotierten Elektroden liegt bei nahezu 59 mV/pH.

Zu den Perspektiven gehören vielseitige Integrationen, wie z. B. KI-gestützte Schweißroboter. Der Markt wuchs mit einer CAGR von 8 % und stellte damit eine Herausforderung für die Versorgung mit Ressourcen dar, aber das Recycling wurde gelöst. Anwendungen werden die Innovation in der Hightech-Industrie fördern.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung



Anhang

A. Glossar

Verbund-Seltenerd-Wolframelektrode: Ein Elektrodenmaterial mit mehreren Seltenerdoxiden, die einer Wolframmatrix zugesetzt werden, um die Schweißleistung zu verbessern.

Pulvermetallurgie: Ein Verarbeitungsverfahren zur Vorbereitung von Metallwerkstoffen durch Pulverformen, Sintern und andere Prozesse.

Zündleistung: Die Fähigkeit der Elektrode, den Lichtbogen bei niedrigen Strömen auszulösen.

Lichtbogenstabilität: Der Lichtbogen bleibt gleichmäßig und driftet während des Schweißvorgangs nicht.

Arbeitsfunktion: Die minimale Energiemenge, die Elektronen von der Oberfläche eines Materials entweichen.

WIG-Schweißen (Wolfram-Inertgas-Schweißen): Wolfram-Schutzgasschweißen.

Plasmaschweißen: Eine Technologie, bei der Plasmalichtbögen zum Schweißen verwendet werden.

Rotationsschmieden: Ein Verfahren, bei dem Stangen durch Rotationshämmern bearbeitet werden.

REM (Rasterelektronenmikroskop): Ein Rasterelektronenmikroskop, das zur Mikrostrukturbeobachtung verwendet wird.

Reo (Seltenerdoxid): Seltenerdoxide wie La_2O_3 , CeO_2 usw.

Zerstörungsfreie Prüfung: Eine Methode zur Überprüfung auf Defekte, ohne die Probe zu beschädigen.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Wasserstoffreduktion: Der Prozess der Reduktion von Wolframoxidpulver mit Wasserstoff.

Kaltisostatisches Pressen: Eine Formtechnik, bei der Pulver unter isostatischen Pressbedingungen verdichtet wird.

Brennlichtbogenlebensdauer: Die Lebensdauer der Elektrode bei kontinuierlichem Schweißen.

Green Manufacturing: Umweltfreundliche und schadstoffarme Produktionsmethoden.

B. Verweise

- [1] Globale Marktprognose für Wolframelektroden - Marktanalysebericht, 2023
- [2] Forschungsfortschritt zu Seltenerd-Wolframelektrodenmaterialien aus Verbundwerkstoffen - Journal of Rare Earth Materials, 2022
- [3] Anwendung von Seltenen Erden aus Wolfram und Molybdän im Bereich der Batterien für neue Energien - Industry Research Report, 2024
- [4] Industrialisierungstechnologie der Multi-Komposit-Seltenerd-Wolframelektrode - Machbarkeitsstudie des Projekts, 2020
- [5] Leistungsanalyse von Seltenerd-Aluminium-Elektrodenmaterialien - Materials Science Journal, 2021
- [6] Forschung zur Lieferkette von Schlüsselmaterialien für Seltene Erden - CTCI-Bericht, 2022
- [7] Sintermechanismus von ternären Komposit-Seltenerd-Wolframelektroden - Metallurgische Transaktionen, 2023
- [8] Leitfaden zur Auswahl von Seltenerd-Wolframelektrodenengeräten - Materials Processing Journal, 2022
- [9] Vorbereitungstechnologie von Mehrkomponenten-Seltenerdmetall-Seltenerdmetallelektroden aus Verbundwerkstoffen - Innovation in Wissenschaft und Technologie, 2024
- [10] Entwicklungs- und Anwendungsstatus von Wolframlegierungen - Nonferrous Metals Journal, 2021
- [11] Sicherheitsspezifikationen für Seltenerd-Verbundelektroden - Industrial Safety Journal, 2023
- [12] Leistungsprüfung von Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen - Journal of Materials Science, 2023
- [13] Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Wolframelektroden - Metallurgical Transactions, 2022
- [14] Mikrostrukturanalyse von Seltenerd-Wolframelektroden - Journal of Rare Earths, 2021
- [15] Nachweis der chemischen Zusammensetzung von Wolframelektroden - Analytische Chemie, 2024
- [16] Technologie zur Erkennung von Wolframelektroden-Defekten - NDT Journal, 2023
- [17] Lebensdauerbewertung von Seltenerd-Wolframelektroden - Reliability Engineering, 2022
- [18] Qualitätskontrolle von Komposit-Wolframelektroden - Quality Control Journal, 2024
- [19] Prüfverfahren für die Leistung von Seltenerd-Wolframelektroden - Zeitschrift für Materialprüfung, 2022
- [20] Die Auswirkungen der REACH-Verordnung auf die Elektrodenherstellung – Europäische Chemikalienagentur, 2024
- [21] Interpretation der Vorschriften für das Management von Seltenen Erden – Bericht über die chinesische Industriepolitik, 2024
- [22] Technologie für die Herstellung von Seltenerd-Wolframelektroden aus Verbundwerkstoffen -

[Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung](#)

Industrial Equipment Journal, 2023

[23] Prozessausrüstung für die Herstellung von Seltenerd-Wolframelektroden - Fortschrittliche Materialverarbeitung, 2021



Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung