

Enzyklopädie der reinen 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

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

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

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

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

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

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

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Verzeichnis

Kapitel 1 Einleitung

- 1.1 Definition und Überblick über die reine Wolframelektrode
- 1.2 Die Bedeutung der reinen Wolframelektrode in der Schweißindustrie
- 1.3 Hintergrund der Forschung und Anwendung von reinen Wolframelektroden

Kapitel 2 Eigenschaften der reinen Wolframelektrode

- 2.1 Physikalische Eigenschaften der reinen Wolframelektrode
 - 2.1.1 Schmelz- und Siedepunkte von reinen Wolframelektroden
 - 2.1.2 Dichte der reinen Wolframelektrode
 - 2.1.3 Thermische und elektrische Leitfähigkeit der reinen Wolframelektrode
 - 2.1.4 Wärmeausdehnungskoeffizient der reinen Wolframelektrode
 - 2.1.5 Dampfdruck der reinen Wolframelektrode
- 2.2 Chemische Eigenschaften der reinen Wolframelektrode
 - 2.2.1 Chemische Stabilität der reinen Wolframelektrode
 - 2.2.2 Oxidationswiderstand der reinen Wolframelektrode
 - 2.2.3 Reaktivität der reinen Wolframelektrode mit anderen Elementen
- 2.3 Elektrische Eigenschaften der reinen Wolframelektrode
 - 2.3.1 Elektronenarbeit der reinen Wolframelektrode
 - 2.3.2 Lichtbogenstabilität der reinen Wolframelektrode
 - 2.3.3 Elektrodenverbrauchsrate der reinen Wolframelektrode
- 2.4 Mechanische Eigenschaften der reinen Wolframelektrode
 - 2.4.1 Härte und Sprödigkeit der reinen Wolframelektrode
 - 2.4.2 Duktilität der reinen Wolframelektrode
 - 2.4.3 Hohe Temperaturfestigkeit und Kriechbeständigkeit der reinen Wolframelektrode
- 2.5 Vergleich der reinen Wolframelektrode mit anderen Wolframelektroden
 - 2.5.1 Reine Wolframelektrode und Cer-Wolframelektrode
 - 2.5.2 Reine Wolframelektrode und Lanthanwolframelektrode
 - 2.5.3 Reine Wolframelektrode und Thoriierte Wolframelektrode
 - 2.5.4 Reine Wolframelektrode und Yttrium-Wolframelektrode
 - 2.5.5 Reine Wolframelektrode und Zirkonium-Wolframelektrode
- 2.6 Reines Wolframelektroden-Sicherheitsdatenblatt von CTIA GROUP LTD

Kapitel 3 Vorbereitungs- und Produktionstechnologie von reinen Wolframelektroden

- 3.1 Vorbereitung der Rohstoffe für die Elektrode aus reinem Wolfram
 - 3.1.1 Gewinnung und Reinigung von Wolframerz
 - 3.1.2 Herstellung von hochreinem Wolframpulver
- 3.2 Pulvermetallurgischer Prozess der reinen Wolframelektrode
 - 3.2.1 Wolframpulver-Pressformen
 - 3.2.2 Sinterprozess
 - 3.2.3 Wärmebehandlung und Glühen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

- 3.3 Druckverarbeitung der reinen Wolframelektrode
 - 3.3.1 Schmieden und Walzen
 - 3.3.2 Zeichnen und Zeichnen
 - 3.3.3 Formen von Elektrodenstäben
- 3.4 Oberflächenbehandlung der reinen Wolframelektrode
 - 3.4.1 Reinigen und Polieren
 - 3.4.2 Grüne Schmiermarkierungen
- 3.5 Qualitätskontrolle der reinen Wolframelektrode
 - 3.5.1 Qualitätsprüfung von Rohstoffen
 - 3.5.2 Überwachung des Produktionsprozesses
 - 3.5.3 Inspektion des fertigen Produkts
- 3.6 Technische Schwierigkeiten und Innovationen der reinen Wolframelektrode
 - 3.6.1 Kontrolle der hohen Reinheit
 - 3.6.2 Optimierung der Kornstruktur
 - 3.6.3 Verbesserung der Produktionseffizienz
 - 3.6.4 Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung

Kapitel 4 Verwendung von reinen Wolframelektroden

- 4.1 Schweißanwendungen
 - 4.1.1 Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG)
 - 4.1.2 Anwendungen beim AC-Schweißen (AC)
 - 4.1.3 Schweißen von Magnesium, Aluminium und deren Legierungen
- 4.2 Andere industrielle Anwendungen
 - 4.2.1 Widerstandsschweißelektroden
 - 4.2.2 Plasmaschneiden und -spritzen
 - 4.2.3 Thermoelektronen emittierende Materialien
 - 4.2.4 Sputtern von Zielen
 - 4.2.5 Gegengewichte und Heizelemente
- 4.3 Spezielle Anwendungen
 - 4.3.1 Luft- und Raumfahrtindustrie
 - 4.3.2 Rüstungsindustrie
 - 4.3.3 Nuklearindustrie
- 4.4 Einschränkungen der Anwendung
 - 4.4.1 Mängel beim Gleichstromschweißen (DC)
 - 4.4.2 Elektrodenverschleiß und Probleme mit der Lebensdauer

Kapitel 5 Produktionsanlagen für reine Wolframelektroden

- 5.1 Rohstoffverarbeitungs-ausrüstung für reine Wolframelektroden
 - 5.1.1 Wolframerz-Zerkleinerungs- und Mahlanlagen
 - 5.1.2 Chemische Reinigungsgeräte
- 5.2 Pulvermetallurgische Ausrüstung für reine Wolframelektroden
 - 5.2.1 Pressen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

- 5.2.2 Sinteröfen
- 5.2.3 Vakuum-Wärmebehandlungsöfen
- 5.3 Druckaufbereitungsgeräte für reine Wolframelektroden
 - 5.3.1 Schmiedemaschinen
 - 5.3.2 Walzwerke
 - 5.3.3 Drahtziehmaschinen
- 5.4 Oberflächenbehandlungsgeräte für reine Wolframelektroden
 - 5.4.1 Reinigung von Geräten
 - 5.4.2 Poliermaschinen
 - 5.4.3 Ausrüstung des Applikators
- 5.5 Prüf- und Qualitätskontrollausrüstung für reine Wolframelektroden
 - 5.5.1 Analysatoren für die chemische Zusammensetzung
 - 5.5.2 Geräte für die Mikrostrukturanalyse
 - 5.5.3 Prüfgeräte für die physikalische Leistung
- 5.6 Automatisierung und intelligente Ausrüstung für reine Wolframelektroden
 - 5.6.1 Anwendung automatisierter Produktionslinien
 - 5.6.2 Intelligentes Überwachungssystem

Kapitel 6 In- und ausländische Normen für reine Wolframelektroden

- 6.1 Internationale Standards für reine Wolframelektroden
 - 6.1.1 AWS A5.12 (Standard des American Welding Institute)
 - 6.1.2 ISO 6848 (Internationale Organisation für Normung)
 - 6.1.3 EN 26848 (Europäische Norm)
- 6.2 Chinesischer nationaler Standard für reine Wolframelektroden
 - 6.2.1 GB/T 4190 (Wolframelektroden-Standard)
 - 6.2.2 Relevante Industrienormen
- 6.3 Andere nationale Normen für reine Wolframelektroden
 - 6.3.1 JIS Z 3233 (Japanischer Industriestandard)
 - 6.3.2 DIN EN ISO 6848 (Deutsche Norm)
- 6.4 Standardvergleich und Unterschiede der reinen Wolframelektrode
 - 6.4.1 Anforderungen an die chemische Zusammensetzung
 - 6.4.2 Abmessungen und Toleranzen
 - 6.4.3 Methoden der Leistungsprüfung
- 6.5 Der Entwicklungstrend von reinen Wolframelektrodenstandards
 - 6.5.1 Umwelt- und Sicherheitsanforderungen
 - 6.5.2 Standards für Hochleistungselektroden

Kapitel 7 Detektionsmethoden und -technologien der reinen Wolframelektrode

- 7.1 Nachweis der chemischen Zusammensetzung der reinen Wolframelektrode
 - 7.1.1 Spektroskopische Analyse (ICP-OES)
 - 7.1.2 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)
 - 7.1.3 Chemische Titration

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

- 7.2 Physikalische Eigenschaften der reinen Wolframelektrode
 - 7.2.1 Messung der Dichte
 - 7.2.2 Härteprüfung
 - 7.2.3 Leitfähigkeitsprüfung
- 7.3 Gefügeanalyse der reinen Wolframelektrode
 - 7.3.1 Lichtmikroskopische Betrachtung
 - 7.3.2 Rasterelektronenmikroskopie (REM)
 - 7.3.3 Analyse der Korngröße
- 7.4 Schweißleistungstest der reinen Wolframelektrode
 - 7.4.1 Leistungstest des Lichtbogens
 - 7.4.2 Prüfung der Lichtbogenstabilität
 - 7.4.3 Test der Elektrodenverbrauchsrate
- 7.5 Umwelt- und Sicherheitsprüfung von reinen Wolframelektroden
 - 7.5.1 Radioaktivitätsdetektion (Vergleich von Thorium-Wolfram-Elektroden)
 - 7.5.2 Erkennung von Staub- und Abgasemissionen
- 7.6 Kalibrierung und Standardisierung von Prüfgeräten für reine Wolframelektroden
 - 7.6.1 Methoden zur Gerätekalibrierung
 - 7.6.2 Internationale Prüfnormen

Kapitel 8 Analyse der Vor- und Nachteile der reinen Wolframelektrode

- 8.1 Vorteile der reinen Wolframelektrode
 - 8.1.1 Niedrige Kosten
 - 8.1.2 Hohe Temperaturstabilität
 - 8.1.3 Geeignet für AC-Schweißen
- 8.2 Nachteile der reinen Wolframelektrode
 - 8.2.1 Schlechte Leistung beim Gleichstromschweißen
 - 8.2.2 Hoher Elektrodenverbrauch
 - 8.2.3 Schwierigkeit bei Lichtbögen und instabilem Lichtbogen
- 8.3 Verbesserungsrichtung der reinen Wolframelektrode
 - 8.3.1 Prozessoptimierung
 - 8.3.2 Studien zur Legierung
 - 8.3.3 Entwicklung neuer Elektrodenmaterialien

Kapitel 9 Markt- und Entwicklungstrend der reinen Wolframelektrode

- 9.1 Überblick über den globalen Markt für Wolframelektroden
 - 9.1.1 Wichtigste Erzeugerländer
 - 9.1.2 Marktgröße und Nachfrage
- 9.2 Marktanalyse für Wolframelektroden in China
 - 9.2.1 Inländische Produktionskapazität
 - 9.2.2 Marktnachfrage und Anwendungsfelder
- 9.3 Entwicklungstrend der reinen Wolframelektrodenteknologie
 - 9.3.1 Effiziente Produktionstechnik

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

- 9.3.2 Umweltfreundlicher Produktionsprozess
- 9.3.3 Forschung und Entwicklung einer neuen Wolframelektrode
- 9.4 Herausforderungen der reinen Wolframelektrode
 - 9.4.1 Schwankungen der Rohstoffpreise
 - 9.4.2 Regulatorischer Druck auf die Umwelt
 - 9.4.3 Internationaler Wettbewerb

Kapitel 10 Schlussfolgerungen

- 10.1 Umfassende Bewertung der reinen Wolframelektrode
- 10.2 Zukünftige Entwicklungsaussichten der reinen Wolframelektrode
- 10.3 Forschungs- und Anwendungsvorschläge der reinen Wolframelektrode

Anhang

- A. Glossar
- B. Verweise

Kapitel 1 Einleitung

1.1 Definition und Übersicht der reinen Wolframelektrode

Reine Wolframelektrode (WP-Elektrode) ist ein Schweißelektrodenmaterial aus hochreinem Wolfram (Wolframgehalt $\geq 99,5\%$) als Hauptrohstoff, normalerweise mit Seltenerdoxid oder anderen Legierungselementen dotiert, hergestellt durch fortschrittliches pulvermetallurgisches Verfahren, und seine Oberfläche ist mit grünen Markierungen beschichtet, um die internationalen Standard-Identifikationsspezifikationen zu erfüllen. Als seltenes Metall hat Wolfram einen extrem hohen Schmelzpunkt ($3422\text{ }^{\circ}\text{C}$), eine hohe Dichte ($19,3\text{ g/cm}^3$), eine ausgezeichnete elektrische Leitfähigkeit (ca. 30% IACS), Wärmeleitfähigkeit ($173\text{ W/m}\cdot\text{K}$) und eine ausgezeichnete chemische Stabilität, was die reine Wolframelektrode zu einem der frühesten Elektrodentypen macht, die beim Wolfram-Argon-Lichtbogenschweißen (WIG-Schweißen) verwendet wurden. Seine hohe Elektronenarbeit (ca. $4,52\text{ eV}$) verleiht ihm eine gute thermische Elektronenabgabefähigkeit bei hohen Temperaturen, aber seine Anwendung ist aufgrund der Schwierigkeit der Lichtbogeninitiierung und der unzureichenden Lichtbogenstabilität beim Gleichstromschweißen (DC) begrenzt, und es wird hauptsächlich zum Wechselstromschweißen (AC) verwendet, insbesondere zum Schweißen von Aluminium, Magnesium und deren Legierungen.

Der Aufbereitungsprozess von reinen Wolframelektroden ist komplex und präzise und umfasst mehrere Schritte von der Wolframzerreinigung bis zur fertigen Elektrode. Zuerst wird hochreines Wolframpulver chemisch aus Wolframz (wie Wolframit oder Scheelit) gewonnen, dann werden Elektrodenstäbe durch Pressen und Formen, Sintern, Schmieden, Drahtziehen und Oberflächenpolieren hergestellt. Fertige Elektroden sind in einer Vielzahl von Größen erhältlich, typischerweise mit einem Durchmesser von $0,5$ bis $6,4\text{ mm}$ und einer Länge von 75 bis 600 mm , mit gängigen Größen wie $1,0$, $1,6$, $2,4$, $3,2$ und $4,0\text{ mm}$, um unterschiedliche Anforderungen an Schweißgeräte und Prozesse zu erfüllen. Darüber hinaus sind die Oberflächenqualität und die Maßtoleranz von reinen Wolframelektroden entscheidend für die Schweißleistung, so dass der Verunreinigungsgehalt und die Kornstruktur während des Produktionsprozesses streng kontrolliert werden müssen, um die Stabilität und Haltbarkeit der Elektrode in Hochtemperatur-Lichtbogenumgebungen zu gewährleisten.

1.2 Die Bedeutung der reinen Wolframelektrode in der Schweißindustrie

Reine Wolframelektrode hat eine unersetzliche Position in der Schweißindustrie, insbesondere beim Wolfram-Argon-Lichtbogenschweißen (WIG-Schweißen), aufgrund ihrer einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften ist sie zum bevorzugten Material für das AC-Schweißen geworden. Zunächst ermöglichen der hohe Schmelzpunkt und die hervorragende Hochtemperaturstabilität von reinen Wolframelektroden die Aufrechterhaltung der strukturellen Integrität in Umgebungen mit hohem Strom (typischerweise $100\text{-}300\text{ A}$) und Hochtemperaturlichtbogen (ca. $6000\text{-}7000\text{ }^{\circ}\text{C}$), wodurch der Elektrodenverbrauch erheblich reduziert und die Lebensdauer verlängert wird, wodurch die Schweißeffizienz und -qualität verbessert wird. Zweitens kann die reine Wolframelektrode beim Wechselstromschweißen eine stabile halbkugelförmige Elektrode bilden, die dazu beiträgt, die Lichtbogenenergie gleichmäßig zu

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

verteilen, den Oxidfilm auf der Oberfläche von Leichtmetallen wie Aluminium und Magnesium und deren Legierungen effektiv zu entfernen und eine glatte und dichte Schweißnaht zu bilden, um die Anforderungen des hochpräzisen Schweißens zu erfüllen.

Im Vergleich zu Wolframelektroden, die mit Seltenerdoxid dotiert sind (wie z.B. Cer-Wolfram-Elektrode, Lanthan-Wolfram-Elektrode oder Thorium-Wolfram-Elektrode), hat die reine Wolfram-Elektrode deutliche Kostenvorteile und umweltfreundliche Eigenschaften. Da sie keine radioaktiven Elemente (z. B. Thorium) enthält, haben reine Wolframelektroden kein Strahlenrisiko bei der Verwendung und Entsorgung und erfüllen die Anforderungen moderner Green Manufacturing und Umweltschutzvorschriften. Diese Eigenschaft macht es in Branchen mit hohen Sicherheitsanforderungen, wie z. B. in der Luft- und Raumfahrt und bei der Herstellung medizinischer Geräte, sehr wünschenswert. Darüber hinaus ist der Produktionsprozess der reinen Wolframelektrode ausgereift, die Rohstoffquellen sind breit und der Preis ist relativ stabil, was ihn in der industriellen Großproduktion wirtschaftlich macht.

Die Anwendungsbereiche von reinen Wolframelektroden erstrecken sich über viele High-End-Fertigungsindustrien. In der Automobilindustrie werden reine Wolframelektroden zum Schweißen von Aluminiumkarosserien und -teilen verwendet. In der Luft- und Raumfahrt wird es zum Präzisionsschweißen von Titanlegierungen und Aluminiumlegierungen verwendet. In der Elektro- und Elektronikindustrie wird es zum Schweißen von dünnwandigen Metallen und Miniaturbauteilen eingesetzt. Dank der Transformation und Modernisierung der globalen Fertigungsindustrie und der wachsenden Nachfrage nach hochwertigen Schweißprozessen steigt die Marktnachfrage nach reinen Wolframelektroden weiter an. Obwohl einige ihrer Einschränkungen beim Gleichstromschweißen dazu geführt haben, dass dotierte Elektroden in einigen Anwendungen ersetzt wurden, sind reine Wolframelektroden beim Wechselstromschweißen, Widerstandsschweißen und einigen Plasmaschneid- und Sprühprozessen nach wie vor unverzichtbar.

1.3 Hintergrund der Forschung und Anwendung von reinen Wolframelektroden

Als strategisches seltenes Metall wird Wolfram aufgrund seiner hervorragenden physikalischen und chemischen Eigenschaften seit Ende des 19. Jahrhunderts in großem Umfang in industriellen und militärischen Bereichen eingesetzt. Die Forschung und Entwicklung sowie die Anwendung von reinen Wolframelektroden begannen im frühen 20. Jahrhundert, was eng mit der Geburt und Entwicklung der Wolfram-Argon-Lichtbogenschweißtechnologie verbunden ist. In den 1910er Jahren wurden Wolframelektroden erstmals in Schweißexperimenten eingesetzt, und ihr hoher Schmelzpunkt und ihre thermische Elektronenabgabefähigkeit machten sie schnell zum Kernmaterial für das WIG-Schweißen. Aufgrund der hohen Elektronenaustrittsarbeit in der frühen reinen Wolframelektrode gibt es jedoch Probleme mit der Lichtbogeninitiierung und der Lichtbogeninstabilität beim Gleichstromschweißen, was den Anwendungsbereich einschränkt. Um diese Mängel zu überwinden, erforschen Forscher seit Mitte des 20. Jahrhunderts Wolframelektroden, die mit Seltenerdoxid (z. B. Ceroxid, Lanthanoxid, Thoriumoxid) dotiert sind, um die Elektronenarbeit zu reduzieren und die Leistung der Lichtbogenzündung und die Lichtbogenstabilität zu verbessern. Obwohl dotierte Elektroden beim Gleichstromschweißen gut

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

abschneiden, behalten reine Wolframelektroden aufgrund ihrer Nichtradioaktivität, ihrer geringen Kosten und ihrer Eignung für das Wechselstromschweißen eine wichtige Marktposition.

Im späten 20. Jahrhundert, mit der rasanten Entwicklung der Luft- und Raumfahrt, des Automobilbaus, der Nuklearindustrie sowie der Elektronik- und Elektroindustrie, stieg die Nachfrage nach Hochleistungsschweißmaterialien erheblich an, was die kontinuierliche Verbesserung des Herstellungsprozesses für reine Wolframelektroden förderte. Zu den modernen Produktionstechnologien gehören die Herstellung von hochreinem Wolframpulver, das isostatische Pressformen, das Vakuumsintern, das Präzisionsschmieden und das automatisierte Drahtziehen usw., die die Reinheit, Korngleichmäßigkeit und die mechanischen Eigenschaften der Elektrode erheblich verbessern. Darüber hinaus spezifizieren internationale Normen (z. B. AWS A5.12, ISO 6848) und chinesische nationale Normen (z. B. GB/T 4190) die chemische Zusammensetzung, die Maßtoleranz, die Oberflächenqualität und die Leistungsprüfverfahren von reinen Wolframelektroden, was ihre standardisierte Herstellung und Anwendung auf dem Weltmarkt fördert.

Als Land mit den weltweit größten Wolframvorkommen (etwa 1,9 Millionen Tonnen, was mehr als 50 % der weltweiten Gesamtmenge entspricht) und der Produktion (etwa 80 % der weltweiten Gesamtmenge im Jahr 2024) verfügt China über eine komplette Industriekette vom Wolframabbau über die Verhüttung bis hin zur Elektrodenherstellung. Durch technologische Innovation und Großproduktion haben inländische Unternehmen die internationale Wettbewerbsfähigkeit von reinen Wolframelektroden erheblich verbessert. Gleichzeitig veröffentlichen Brancheninformationsplattformen wie Chinatungsten Online Technology Co., Ltd. Markttrends, technischen Fortschritt und Preisinformationen über die Website und das offizielle WeChat-Konto, bieten maßgeschneiderte Lösungen für globale Kunden und werden zu einer maßgeblichen Informationsquelle in der Wolframproduktindustrie.

Zu den Forschungsrichtungen für reine Wolframelektroden gehören derzeit die Optimierung der Kornstruktur zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit und Lichtbogenstabilität, die Entwicklung effizienter und umweltfreundlicher Produktionsprozesse zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der Emissionen sowie die Erforschung neuer Elektrodenmaterialien, um den unterschiedlichen Schweißanforderungen gerecht zu werden. Darüber hinaus hat die weltweite Betonung auf umweltfreundliche Produktion und nachhaltige Entwicklung die Entwicklung und Anwendung von nicht-radioaktiven Elektroden gefördert, und reine Wolframelektroden sind aufgrund ihrer umweltfreundlichen Eigenschaften in diesem Trend im Vorteil. In Zukunft, mit der Weiterentwicklung der neuen Energien, der Luft- und Raumfahrt und des High-End-Gerätebaus, wird die Anwendungsperspektive der reinen Wolframelektrode breiter sein.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung



Reine Wolframelektroden von CTIA GROUP LTD

Kapitel 2 Eigenschaften der reinen Wolframelektrode

2.1 Physikalische Eigenschaften der reinen Wolframelektrode

Die reine Wolframelektrode (WP-Elektrode) nimmt aufgrund ihrer hervorragenden physikalischen Eigenschaften eine wichtige Stellung in der Schweißindustrie ein. Sein hoher Schmelzpunkt, seine hohe Dichte, seine ausgezeichnete Wärmeleitfähigkeit, sein niedriger Wärmeausdehnungskoeffizient und sein niedriger Dampfdruck machen es zu einem unverzichtbaren Material beim Wolfram-Argon-Lichtbogenschweißen (WIG-Schweißen), insbesondere beim AC-Schweißen (AC). Im Folgenden werden die physikalischen Eigenschaften von reinen Wolframelektroden ausführlich erläutert.

2.1.1 Schmelz- und Siedepunkte von Elektroden aus reinem Wolfram

Wolfram ist mit einem Schmelzpunkt von 3422 °C (ca. 3695 K) und einem Siedepunkt von 5660 °C (ca. 5933 K) für reine Wolframelektroden das Element mit dem höchsten Schmelzpunkt aller Metalle. Diese Eigenschaft ermöglicht es reinen Wolframelektroden, die strukturelle Integrität in Hochtemperatur-Lichtbogenumgebungen (ca. 6000-7000 °C) zu erhalten, wodurch das Risiko eines Schmelzens der Elektrode oder eines übermäßigen Ausbrennens verringert wird. Beim WIG-Schweißen sorgt der hohe Schmelzpunkt dafür, dass die Elektrode bei hohen Strömen (100-300 A) eine stabile Endform beibehalten kann, insbesondere beim Wechselstromschweißen von Leichtmetallen wie Aluminium und Magnesium kann die Elektrode ein halbkugelförmiges Ende bilden, was zur gleichmäßigen Verteilung des Lichtbogens beiträgt. Der hohe Schmelzpunkt führt aber auch dazu, dass reine Wolframelektroden bei der Verarbeitung einen höheren Energieeintrag erfordern, was die Produktionskosten erhöht.

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

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

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

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

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

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

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

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

2.1.2 Dichte der reinen Wolframelektrode

Die Dichte von reinen Wolframelektroden beträgt $19,3 \text{ g/cm}^3$ bei 25 °C , was nahe an Gold ($19,32 \text{ g/cm}^3$) und 2,5-mal so hoch ist wie die von Stahl ($7,8 \text{ g/cm}^3$). Die hohe Dichte verleiht der Elektrode eine hervorragende mechanische Stabilität und Vibrationsfestigkeit und kann der vom Lichtbogen während des Schweißprozesses erzeugten Aufprallkraft standhalten, wodurch das Risiko einer Endverformung oder eines Bruchs verringert wird. Darüber hinaus macht die hohe Dichte reine Wolframelektroden zu einer potenziellen Anwendung in Gegengewichten und Luft- und Raumfahrtanwendungen. Die hohe Dichte erhöht jedoch auch das Gewicht der Elektroden, was für einige Schweißgeräte, die eine Leichtbauweise erfordern, eine Herausforderung darstellen kann.

2.1.3 Thermische und elektrische Leitfähigkeit der Elektrode aus reinem Wolfram

Die Elektrode aus reinem Wolfram hat eine gute thermische und elektrische Leitfähigkeit, ihre Wärmeleitfähigkeit beträgt etwa $173 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (Raumtemperatur) und ihre elektrische Leitfähigkeit beträgt etwa 30 % IACS (International Annealed Copper Standard). Die hervorragende Wärmeleitfähigkeit ermöglicht es der Elektrode, die vom Lichtbogen erzeugte Wärme schnell abzuführen, wodurch das Risiko einer Überhitzung der Elektrode verringert und die Lebensdauer verlängert wird. Eine gute elektrische Leitfähigkeit sorgt dafür, dass die Elektrode während des Schweißvorgangs effizient Strom übertragen und einen stabilen Lichtbogen aufrechterhalten kann. Reines Wolfram hat jedoch im Vergleich zu Kupfer eine geringere elektrische Leitfähigkeit (Wärmeleitfähigkeit von ca. $400 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ und Leitfähigkeit von 100 % IACS), was zu einer Überhitzung der Elektrode führen und die Lichtbogenstabilität beim Hochstrom-Gleichstromschweißen (DC) beeinträchtigen kann. Daher eignen sich reine Wolframelektroden besser für AC-Schweißszenarien.

2.1.4 Wärmeausdehnungskoeffizient der Elektrode aus reinem Wolfram

Reine Wolframelektroden haben einen niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten von etwa $4,5 \times 10^{-6} / \text{K}$ ($20\text{-}1000 \text{ °C}$). Der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient bedeutet, dass die Elektrode beim Hochtemperaturschweißen nur geringe Dimensionsänderungen aufweist, wodurch Form und Dimensionsstabilität erhalten bleiben und Risse oder Verformungen aufgrund thermischer Belastung reduziert werden. Dies ist besonders wichtig beim Präzisionsschweißen, wie z. B. bei Komponenten für die Luft- und Raumfahrt. Der niedrige Wärmeausdehnungskoeffizient ermöglicht es aber auch, dass reine Wolframelektroden Grenzflächenspannungen erzeugen, wenn sich der Wärmeausdehnungskoeffizient deutlich von dem eines Substrats (z. B. Stahl oder Aluminium) unterscheidet, was durch Prozessoptimierung (z. B. Vorwärmen) gemildert werden muss.

2.1.5 Dampfdruck der Elektrode aus reinem Wolfram

Der Dampfdruck von reinen Wolframelektroden bei hohen Temperaturen ist extrem niedrig, nur 0 Pa bei 3000 °C [2]. Der niedrige Dampfdruck bedeutet, dass die Elektrode in der Hochtemperatur-Lichtbogenumgebung extrem niedrig ist, wodurch der Verdampfungsverlust des Elektrodenmaterials reduziert und die Lebensdauer der Elektrode verlängert wird. Dies ist besonders wichtig beim langzeitkontinuierlichen Schweißen, wie z.B. beim automatisierten Schweißen in der industriellen Produktion. Bei sehr hohen Temperaturen (z.B. in der Nähe des

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Siedepunktes) steigt der Dampfdruck jedoch deutlich an, was zu leichten Verlusten an der Elektrode führen und die Stabilität des Lichtbogens beeinträchtigen kann.

2.2 Chemische Eigenschaften der reinen Wolframelektrode

Die chemischen Eigenschaften von reinen Wolframelektroden spiegeln sich vor allem in ihrer chemischen Stabilität, Oxidationsbeständigkeit und Reaktivität mit anderen Elementen wider. Diese Eigenschaften bestimmen die Eignung und Haltbarkeit der Elektrode in verschiedenen Schweißumgebungen.

2.2.1 Chemische Stabilität der Elektrode aus reinem Wolfram

Wolfram ist bei Raum- und mittleren bis niedrigen Temperaturen chemisch extrem stabil, reagiert nicht mit den meisten Säuren, Basen oder Salzlösungen und löst sich nur langsam in stark oxidierenden Säuren wie konzentrierter Salpeter- oder Flusssäure. Beim WIG-Schweißen arbeiten reine Wolframelektroden in der Regel unter dem Schutz eines Inertgases wie Argon oder Helium, das chemisch stabil ist und es ihnen ermöglicht, Korrosion in der Schweißumgebung zu widerstehen, wodurch eine saubere Oberfläche und Lichtbogenstabilität erhalten bleiben. In Atmosphären ohne Inertgas (z. B. Atmosphären, die Sauerstoff oder wässrigen Dampf enthalten) nimmt die chemische Stabilität von Wolfram jedoch ab, und eine Prozesskontrolle ist erforderlich, um eine Oxidation der Elektrodenoberfläche zu vermeiden.

2.2.2 Oxidationsbeständigkeit der reinen Wolframelektrode

Reine Wolframelektroden haben eine schlechte Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen und beginnen bei etwa 400 °C oder mehr mit Sauerstoff zu reagieren, um Wolframtrioxid (WO_3) zu bilden.), und die Oxidationsrate wird bei höheren Temperaturen (z. B. über 800 °C) deutlich beschleunigt [21]. Beim WIG-Schweißen kann der Schutzgasschutz die Elektrodenoxidation wirksam verhindern, aber wenn der Schutzgasfluss unzureichend oder unterbrochen ist, bildet sich schnell eine gelbe oder blaue Oxidschicht auf der Elektrodenoberfläche, was zu einer Instabilität des Lichtbogens oder sogar zum Versagen der Elektrode führt. Daher ist es notwendig, während der Schweißvorgänge einen stabilen Gasschutz zu gewährleisten und die Oberflächenbeschaffenheit der Elektroden regelmäßig zu überprüfen. Darüber hinaus sind reine Wolframelektroden nicht so oxidationsbeständig wie Elektroden, die mit Seltenerdoxid dotiert sind (z. B. Cer-Wolfram- oder Lanthan-Wolfram-Elektroden), was ihre Anwendung in einigen rauen Umgebungen einschränkt.

2.2.3 Reaktivität der reinen Wolframelektrode mit anderen Elementen

Reine Wolframelektroden sind bei hohen Temperaturen weniger reaktiv mit anderen Elementen (z. B. Kohlenstoff, Stickstoff, Wasserstoff), können aber unter bestimmten Bedingungen reagieren. In kohlenstoffhaltigen Atmosphären wie CO oder CH_4 kann Wolfram beispielsweise Wolframkarbid (WC) bilden, was zu einer erhöhten Oberflächenhärte, aber einer erhöhten Sprödigkeit führt, was sich auf die Schweißbarkeit auswirkt. In stickstoffhaltigen Atmosphären kann Wolfram Wolframnitrid (WN) bilden, aber die Reaktionsgeschwindigkeit ist langsam und hat nur einen begrenzten Einfluss auf die Leistung der Elektroden. Darüber hinaus reagiert Wolfram nur wenig chemisch mit Metallen im Schmelzbad (z. B. Aluminium, Magnesium), was die Reinheit der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Schweißnaht gewährleistet. Durch diese Eigenschaften eignen sich reine Wolframelektroden zum Schweißen von hochreinen Materialien, vermeiden jedoch den direkten Kontakt mit der aktiven Atmosphäre.

2.3 Elektrische Eigenschaften der reinen Wolframelektrode

Die elektrischen Eigenschaften von reinen Wolframelektroden wirken sich direkt auf ihre Leistung beim WIG-Schweißen aus, einschließlich der Lichtbogeninitiierungsleistung, der Lichtbogenstabilität und der Elektrodenverbrauchsrate. Folgendes wird unter drei Aspekten analysiert: Ableitung der Elektronenarbeit, Lichtbogenstabilität und Elektrodenverbrauchsrate.

2.3.1 Elektronenarbeit der reinen Wolframelektrode

Die Elektronenarbeit ist ein Maß für die Schwierigkeit, heiße Elektronen aus dem Material zu emittieren, und die Elektronenarbeit der reinen Wolframelektrode ist relativ hoch, etwa 4,52 eV. Eine hohe Elektronenarbeit bedeutet, dass die Elektrode in der Anfangsphase des Schweißens eine höhere Spannung benötigt, um einen Lichtbogen auszulösen, insbesondere beim Gleichstromschweißen, das eine schlechte Lichtbogensauslöseleistung aufweist und anfällig für Nicht-Lichtbogenbildung oder Lichtbogensprünge ist. Bei Wechselstrom (AC) kann die Wechselwirkung von positiven und negativen Halbzyklen des Wechselstroms die Schwierigkeit des Lichtbogens teilweise lindern, aber es ist immer noch eine höhere Lichtbogenstabilität erforderlich. Im Gegensatz dazu haben Elektroden, die mit Seltenerdoxid dotiert sind (wie z. B. Cer-Wolfram-Elektroden mit einer Elektronenarbeit von etwa 2,7-3,0 eV), eine bessere Lichtbogeneinleitungsleistung, was der Hauptgrund für die begrenzte Anwendung von reinen Wolframelektroden beim Gleichstromschweißen ist.

2.3.2 Lichtbogenstabilität der Elektrode aus reinem Wolfram

Die Lichtbogenstabilität bezieht sich auf die Fähigkeit des Lichtbogens, während des Schweißprozesses kontinuierlich und gleichmäßig zu bleiben. Reine Wolframelektrode hat eine gute Lichtbogenstabilität beim Wechselstromschweißen, da ihr hoher Schmelzpunkt und ihre Wärmeleitfähigkeit eine stabile Elektrodenform (halbkugelförmig) aufrechterhalten können, um eine gleichmäßige Lichtbogenenergieverteilung zu gewährleisten. Beim Gleichstromschweißen ist der Lichtbogen jedoch aufgrund der hohen Elektronenarbeit und des geringen Wirkungsgrads der thermischen Elektronenemission anfällig für Drift oder Unterbrechung, insbesondere bei niedrigen Strömen (<50 A) oder hohen Frequenzen. Darüber hinaus kann eine Verschmutzung der Elektrodenoberfläche (z. B. Oxid oder Öl) die Lichtbogenstabilität weiter verringern, so dass es notwendig ist, die Elektrodenteile regelmäßig zu schärfen, um sie sauber zu halten.

2.3.3 Elektrodenverbrauch von reinen Wolframelektroden

Die Elektrodenverbrauchsrate bezieht sich auf die Rate, mit der die Elektrode aufgrund von Schmelzen, Verdampfen oder mechanischem Verlust während des Schweißprozesses reduziert wird. Wolframelektroden haben einen hohen Elektrodenverbrauch, insbesondere bei hohen Strömen (>200 A) oder langfristigem Dauerschweißen, aufgrund ihrer hohen Elektronenaustrittsarbeit, was zu einer hohen Elektrodentemperatur führt, die die Materialverflüchtigung und das Ausbrennen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

beschleunigt. Beim AC-Schweißen verlangsamt die Bildung von halbkugelförmigen Enden den Verbrauch teilweise, aber bei der positiven Gleichstromschaltung (DCSP) ist die Elektrodenverbrauchsrate deutlich höher als bei dotierten Elektroden (z. B. Cer-Wolfram- oder Lanthan-Wolfram-Elektroden). Um den Verbrauch zu senken, müssen Schweißparameter (z. B. Strom, Gasfluss) optimiert und die Elektrode regelmäßig geschärft werden, um den Spitzenwinkel beizubehalten.

2.4 Mechanische Eigenschaften von reinen Wolframelektroden

Zu den mechanischen Eigenschaften von reinen Wolframelektroden gehören Härte, Sprödigkeit, Duktilität und Hochtemperaturfestigkeit, die ihre Leistungsfähigkeit bei Herstellung, Verarbeitung und Verwendung bestimmen.

2.4.1 Härte und Sprödigkeit der Elektrode aus reinem Wolfram

Reine Wolframelektroden haben eine extrem hohe Härte, die Vickers-Härte (HV) bei Raumtemperatur liegt bei etwa 350-450, nahe an Wolframkarbid (HV etwa 500). Seine hohe Härte verleiht ihm eine hervorragende Verschleißfestigkeit und ist in der Lage, Lichtbogenstößen und mechanischem Verschleiß standzuhalten. Die Kristallstruktur von Wolfram (körperzentrierter Würfel) macht es jedoch vor allem bei Raumtemperatur sehr spröde und neigt zu Sprödbrüchen. Während des Produktionsprozesses wird die Sprödigkeit durch Hochtemperaturschmieden und Glühen reduziert, aber die fertige Elektrode muss dennoch vorsichtig behandelt werden, um Brüche durch Stürze oder Stöße zu vermeiden. Beim Schweißen trägt die hohe Härte der Elektrode dazu bei, die Endmorphologie zu erhalten, aber Sprödigkeit kann Mikrorisse an den Enden verursachen, die die Lichtbogenstabilität beeinträchtigen.

2.4.2 Duktilität der Elektrode aus reinem Wolfram

Die Duktilität von reinen Wolframelektroden ist schlecht, es gibt fast keine plastische Verformungsfähigkeit bei Raumtemperatur und die Bruchdehnung liegt nahe 0%. Bei hohen Temperaturen (>1200 °C) hat Wolfram eine leichte Verbesserung der Duktilität und kann durch Schmieden oder Drahtziehen geformt werden. Die Duktilität bei hohen Temperaturen ist jedoch immer noch begrenzt, und die Temperatur und die Verformungsrate müssen während der Verarbeitung streng kontrolliert werden, um Rissbildung zu vermeiden. Bei Schweißanwendungen ist es aufgrund der schlechten Duktilität schwierig, dass sich die Elektroden an die Schweißanforderungen komplexer Formen anpassen, aber ihre hohe Härte und Stabilität machen dieses Manko wieder wett.

2.4.3 Hohe Temperaturfestigkeit und Kriechfestigkeit der Elektrode aus reinem Wolfram

Reine Wolframelektroden haben eine ausgezeichnete Hochtemperaturfestigkeit und Kriechbeständigkeit bei hohen Temperaturen. Bei mehr als 2000 °C kann seine Zugfestigkeit immer noch 100-200 MPa erreichen, und seine Kriechfestigkeit übertrifft die der meisten Metalle bei weitem. Diese Eigenschaft ermöglicht es der Elektrode, ihre mechanische Stabilität in einer Hochtemperatur-Lichtbogenumgebung aufrechtzuerhalten und Verformungen oder Brüche aufgrund thermischer Belastung zu reduzieren. Die Kriechfestigkeit gewährleistet die Stabilität der

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

Anschlussmorphologie und verlängert die Lebensdauer bei langfristigem Dauerschweißen. Das Kornwachstum bei hohen Temperaturen kann jedoch die Festigkeit verringern, und eine Kornverfeinerung ist durch die Optimierung des Produktionsprozesses, wie z. B. die Steuerung der Sintertemperatur, erforderlich.

2.5 Vergleich der Elektrode aus reinem Wolfram mit anderen Wolframelektroden

Es gibt signifikante Unterschiede in der Leistung von reinen Wolframelektroden und anderen dotierten Wolframelektroden (wie z. B. Cer-Wolfram-, Lanthan-Wolfram-, Thorium-Wolfram-, Yttrium-Wolfram- und Zirkonium-Wolfram-Elektroden). Im Folgenden finden Sie einen Vergleich unter den Aspekten Schweißleistung, Anwendungsszenarien, Vor- und Nachteile.

2.5.1 Elektrode aus reinem Wolfram und Wolframelektrode aus Cer

Die Cer-Wolfram-Elektrode (WC-Elektrode) ist mit 2%-4% Ceroxid (CeO_2) in einer Wolframmatrix dotiert, die Farbskala ist grau. Die Elektronenarbeit der Cer-Wolfram-Elektrode ist geringer (ca. 2,7-3,0 eV), und die Lichtbogeneinleitungsleistung ist besser als die der reinen Wolframelektrode, insbesondere beim Niederstrom-Gleichstromschweißen (<100 A). Darüber hinaus weisen Cer-Wolfram-Elektroden eine hohe Lichtbogenstabilität und einen niedrigen Elektrodenverbrauch auf, was für das Gleichstromschweißen von Edelstahl, Kohlenstoffstahl und anderen Materialien geeignet ist. Im Gegensatz dazu sind reine Wolframelektroden beim Gleichstromschweißen schwer lichtbogenfähig und instabil, aber ihre Kosten sind niedrig und für das Wechselstromschweißen von Aluminium- und Magnesiumlegierungen geeignet. Die Cer-Wolfram-Elektrode ist nicht radioaktiv und erfüllt die Anforderungen des Umweltschutzes, aber beim Hochstrom-Wechselstromschweißen kann das Ende leicht eine unregelmäßige Form bilden, und die Lichtbogenstabilität ist nicht so gut wie bei reinen Wolframelektroden.

2.5.2 Elektrode aus reinem Wolfram und Wolframelektrode aus Lanthan

Lanthan-Wolfram-Elektroden (WL-Elektroden) sind mit 1%-2% Lanthanoxid (La_2O_3) dotiert und blau oder gold eingefärbt. Die Elektronenarbeit der Lanthan-Wolfram-Elektrode beträgt etwa 2,8-3,2 eV, und die Lichtbogeneinleitungsleistung und die Lichtbogenstabilität sind besser als die der reinen Wolframelektrode, die für das Gleich- und Wechselstromschweißen geeignet ist. Durch seinen geringen Elektrodenverbrauch und seine stabile Endmorphologie bei hohen Temperaturen eignet es sich für hochpräzises Schweißen (z. B. Luft- und Raumfahrtkomponenten). Die reine Wolframelektrode bildet beim AC-Schweißen am Ende eine stabile halbkugelförmige Form, die für das Schweißen von Aluminiumlegierungen geeignet ist, aber beim DC-Schweißen eine schlechte Leistung aufweist. Darüber hinaus sind die Produktionskosten von Lanthan-Wolfram-Elektroden höher als die von reinen Wolfram-Elektroden, was ihre Förderung in kostengünstigen Anwendungen einschränkt.

2.5.3 Elektrode aus reinem Wolfram und thorierte Wolframelektrode

Thorium-Wolfram-Elektroden (WT-Elektroden) sind mit 1%-2% Thoriumoxid (ThO_2) dotiert und rot oder gelb eingefärbt. Thorium-Wolfram-Elektroden haben die geringste Elektronenarbeit (ca. 2,6 eV) und eine hervorragende Lichtbogeneinleitungsleistung und Lichtbogenstabilität und werden

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

häufig beim Gleichstromschweißen von Kohlenstoffstahl, Edelstahl und Nickellegierungen eingesetzt. Sein geringer Elektrodenverbrauch ermöglicht eine hohe zulässige Stromdichte (>200 A). Thoriumoxid ist jedoch radioaktiv (Strahlendosis von etwa $3,60 \times 10^5$ Curie/kg) und potenziell schädlich für Mensch und Umwelt [17]. Reine Wolframelektroden sind nicht radioaktiv, kostengünstig und für das AC-Schweißen geeignet, aber ihre Leistung beim DC-Schweißen ist der von thorierten Wolframelektroden weit unterlegen. Gegenwärtig werden Thorium-Wolfram-Elektroden in Bereichen mit strengen Umweltschutzauflagen nach und nach durch Cer-Wolfram- oder Lanthan-Wolfram-Elektroden ersetzt.

2.5.4 Reine Wolframelektrode und Yttriumwolframelektrode

Yttrium-Wolfram-Elektrode (WY-Elektrode), dotiert mit 2% Yttriumoxid (Y_2O_3) mit dunkelblauem Farbcode, wird hauptsächlich für das Gleichstromschweißen im Militär- und Luft- und Raumfahrtbereich verwendet. Die Elektronenarbeit von Yttrium-Wolfram-Elektroden beträgt etwa 2,9 eV, mit hervorragender Lichtbogeninitiierungsleistung und Lichtbogenstabilität, geringem Elektrodenverbrauch und geeignet für Hochstromschweißen (z. B. Titanlegierungen). Reine Wolframelektroden werden in diesen Bereichen aufgrund ihrer schwierigen Lichtbogeninitiierung und Lichtbogeninstabilität nur selten eingesetzt. Yttrium-Wolfram-Elektroden haben hohe Produktionskosten und einen engen Anwendungsbereich auf dem Markt, während reine Wolframelektroden aufgrund ihrer Wirtschaftlichkeit und Eignung für das Wechselstromschweißen immer noch weit verbreitet sind.

2.5.5 Elektrode aus reinem Wolfram und Wolframelektrode aus Zirkonium

Zirkonium-Wolfram-Elektrode (WZ-Elektrode) dotiert mit 0,3 %-0,8 % Zirkonoxid (ZrO_2), der Farbcode ist braun oder weiß und sie ist für das AC-Schweißen ausgelegt. Die Elektronenarbeit der Zirkonium-Wolfram-Elektrode beträgt etwa 4,0 eV, was etwas niedriger ist als die der reinen Wolframelektrode, und die Lichtbogeneinleitungsleistung ist etwas besser, und die Lichtbogenstabilität ist hoch, was für das Wechselstromschweißen von Aluminium- und Magnesiumlegierungen geeignet ist. Ihr Elektrodenverbrauch ist geringer als der von reinen Wolframelektroden und die Endform ist stabiler. Reine Wolframelektroden sind ähnlich wie Zirkonium-Wolframelektroden beim AC-Schweißen, aber zu geringeren Kosten und für kostensensible Anwendungen geeignet. Der Herstellungsprozess von Zirkonium-Wolframelektroden ist komplex und der Preis ist hoch, was den Marktanteil einschränkt.

2.6 Reines Wolframelektroden-Sicherheitsdatenblatt von CTIA GROUP LTD

Das Sicherheitsdatenblatt (MSDS) ist ein wichtiges Dokument, das die sichere Verwendung, Lagerung und Entsorgung von reinen Wolframelektroden beschreibt. Im Folgenden finden Sie eine Zusammenfassung der wichtigsten Inhaltsstoffe des Sicherheitsdatenblatts für reine Wolframelektroden:

Teil I: Produktname

Name: Reine Wolframelektrode (WP)

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CAS-Nr.: 7440-33-7

Teil II: Zusammensetzung/Informationen zur Zusammensetzung

Hauptinhalt $W \geq 99,95\%$

Gehalt an Gesamtverunreinigungen $\leq 0,05\%$

Teil III: Überblick über die Gefahren

Gesundheitsgefahren: Dieses Produkt ist nicht reizend für Augen und Haut.

Explosionsgefahr: Dieses Produkt ist nicht brennbar und nicht reizend.

Teil IV: Erste-Hilfe-Maßnahmen

Haut-zu-Haut-Kontakt: 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: Vom Tatort an die frische Luft nehmen. Wenn Sie Schwierigkeiten beim Atmen haben, geben Sie Sauerstoff. Ärztliche Behandlung.

Einnahme: Trinken Sie viel warmes Wasser, um Erbrechen auszulösen. Ärztliche Behandlung.

Teil V: Brandschutzmaßnahmen

Schädliche Verbrennungsprodukte: Natürliche Zersetzungsprodukte sind unbekannt.

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

Teil VI: Notfallbehandlung bei verschütteten Flüssigkeiten

Notfallbehandlung: Isolieren Sie den mit Leckagen kontaminierten Bereich und beschränken Sie den Zugang. Schalten Sie den Brandherd aus. Den Einsatzkräften wird empfohlen, Staubmasken (Vollmasken) und Schutzkleidung zu tragen. Vermeiden Sie Staub, fegen Sie ihn vorsichtig auf, stecken Sie ihn in einen Beutel und bringen Sie ihn an einen sicheren Ort. Wenn eine große Menge an Leckagen vorhanden ist, decken Sie sie mit einem Plastiktuch oder einer Leinwand ab. Sammeln und recyceln oder zur Entsorgung zu einer Mülldeponie transportieren.

Teil VII: Handhabung, Handhabung und Lagerung

Vorsichtsmaßnahmen für den Betrieb: Die Bediener müssen speziell geschult sein und die Betriebsverfahren strikt befolgen. Es wird empfohlen, dass der Bediener selbstansaugende

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

filtrierende Staubmasken, eine chemische Schutzbrille, einen Overall gegen Giftdurchdringung und Gummihandschuhe trägt. Halten Sie sich von Feuer und Wärmequellen fern, und Rauchen ist am Arbeitsplatz strengstens verboten. Verwenden Sie explosionsgeschützte Lüftungssysteme und -geräte. Vermeiden Sie Staubentwicklung. Vermeiden Sie den Kontakt mit Oxidationsmitteln und Halogenen. Bei der Handhabung ist es notwendig, leicht zu be- und entladen, um Schäden an der Verpackung und den 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. Von Feuer und Wärmequellen fernhalten. Es sollte getrennt von Oxidationsmitteln und Halogenen gelagert und nicht vermischt werden. Ausgestattet mit der entsprechenden Vielfalt und Menge an Feuerlöschgeräten. Der Lagerbereich sollte mit geeigneten Materialien ausgestattet sein, um die Verschüttung einzudämmen.

Teil VIII: Expositionsbegrenzung/Persönlicher Schutz

China MAC (mg/m³): 6

MAC der UdSSR (mg/m³): 6

TLVTN:ACGIH 1mg/m³

TLVWN:ACGIH 3mg/m³

Überwachungsmethode: Kaliumthiocyanid-Titanchlorid-Spektrolumineszenzmethode

Technische Kontrolle: Der Produktionsprozess ist staubfrei und vollständig belüftet.

Atemschutz: Wenn die Staubkonzentration in der Luft die Norm überschreitet, muss eine selbstansaugende filtrierende Staubmaske getragen werden. Im Falle einer Notfalleвакуierung sollte ein Atemschutzgerät getragen werden.

Augenschutz: Tragen Sie eine chemische Schutzbrille.

Körperschutz: Tragen Sie einen Anti-Gift-Penetrationoverall.

Handschutz: Tragen Sie Gummihandschuhe.

Teil IX: Physikalisch-chemische Eigenschaften

Hauptbestandteil: Rein

Aussehen und Eigenschaften: massives, hochweißes Metall

Schmelzpunkt (°C): N/A

Siedepunkt (°C): N/A

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

Dampfdichte (Luft = 1): Keine Angabe

Sättigungsdampfdruck (kPa): keine Daten verfügbar

Verbrennungswärme (kJ/mol): keine Angabe

Kritische Temperatur (°C): Keine Daten verfügbar

Kritischer Druck (MPa): Keine Daten verfügbar

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Logarithmus des Wasserverteilungskoeffizienten: keine Daten

Flammpunkt (°C): Keine Daten verfügbar

Zündtemperatur (°C): Keine Daten

Explosionsgrenze % (V/V): Keine Daten

Untere Explosionsgrenze % (V/V): Keine Daten

Löslichkeit: löslich in Salpetersäure, Flusssäure

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

Teil X: Stabilität und Reaktivität

Verbotene Substanzen: starke Säuren und Alkalien.

Teil 11:

Akute Toxizität: keine Daten verfügbar

LC50: Keine Daten

Teil XII: Ökologische Daten

Für diesen Abschnitt liegen keine Daten vor

Teil XIII: Entsorgung

Abfallentsorgungsmethode: Beziehen Sie sich vor der Entsorgung auf die einschlägigen nationalen und lokalen Gesetze und Vorschriften. Recyceln, wenn möglich.

Teil XIV: Versandinformationen

Gefahrgutnummer: keine Angabe

Verpackungskategorie: Z01

Vorsichtsmaßnahmen für den Transport: Die Verpackung sollte beim Versand vollständig sein und die Verladung sollte sicher sein. Während des Transports muss sichergestellt werden, dass der Behälter nicht ausläuft, zusammenbricht, herunterfällt oder beschädigt wird. Es ist strengstens verboten, mit Oxidationsmitteln, Halogenen, essbaren Chemikalien usw. zu mischen. Während des Transports sollte es vor Sonne, Regen und hohen Temperaturen geschützt werden. Die Fahrzeuge sollten nach dem Transport gründlich gereinigt werden.

Teil XV: Regulatorische Informationen

Regulatorische Informationen: Vorschriften über das Sicherheitsmanagement für gefährliche Chemikalien (vom Staatsrat am 17. Februar 1987 verkündet), detaillierte Regeln für die Umsetzung der Vorschriften über das Sicherheitsmanagement für gefährliche Chemikalien (Hua Lao Fa [1992] Nr. 677), Vorschriften über die sichere Verwendung von Chemikalien am Arbeitsplatz ([1996] Lao

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

Bu Fa Nr. 423) und andere Gesetze und Vorschriften, die entsprechende Bestimmungen über die sichere Verwendung, Herstellung, Lagerung, Beförderung, Be- und Entladung gefährlicher Chemikalien erlassen haben; Die Hygienenorm für Wolfram in der Werkstattluft (GB 16229-1996) schreibt die maximal zulässige Konzentration und das Nachweisverfahren dieses Stoffes in der Werkstattluft vor.

Teil XVI: Lieferanteninformationen

Lieferant: CTIA GROUP LTD

Telefonnummer: 0592-5129696/5129595



Reine Wolframelektroden von CTIA GROUP LTD

Kapitel 3 Vorbereitungs- und Produktionstechnologie von reinen Wolframelektroden

Die Herstellung von reinen Wolframelektroden (WP-Elektroden) ist ein hochpräziser Prozess mit multidisziplinärer Interdisziplinarität, der die Mineralmetallurgie, die Pulvermetallurgie, die Druckverarbeitung und die Oberflächenbehandlung von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur Formgebung der fertigen Elektroden umfasst. Bei jedem Schritt ist eine strenge Kontrolle der Prozessparameter erforderlich, um eine hohe Reinheit, Gleichmäßigkeit und hervorragende Schweißleistung der Elektrode zu gewährleisten. In diesem Kapitel wird die Vorbereitungs- und Produktionstechnologie von reinen Wolframelektroden ausführlich erörtert, wobei die Rohstoffaufbereitung, die Pulvermetallurgie, die Druckverarbeitung, die Oberflächenbehandlung, die Qualitätskontrolle sowie technische Schwierigkeiten und Innovationsrichtungen behandelt werden.

3.1 Vorbereitung von Rohstoffen für reine Wolframelektroden

Die Herstellung von reinen Wolframelektroden beginnt bereits bei der Auswahl und Handhabung der Rohstoffe. Als seltenes Metall kommt Wolfram in der Natur hauptsächlich in Form von Wolframerz vor, und sein Herstellungsprozess erfordert die Extraktion von hochreinen Wolframverbindungen aus dem Erz und die Weiterverarbeitung zu hochreinem Wolframpulver. Der Prozess in dieser Phase bestimmt direkt die Reinheit und Leistung der Elektrode.

3.1.1 Gewinnung und Reinigung von Wolframerz

Die Gewinnung und Reinigung von Wolframerz ist der erste Schritt bei der Herstellung von reinen Wolframelektroden, bei der es hauptsächlich darum geht, Wolframerz aus der Natur zu gewinnen und in hochreine Wolframverbindungen umzuwandeln. Die weltweiten Wolframerzvorkommen verteilen sich hauptsächlich auf China, Russland, Kanada und Australien, von denen China mehr als die Hälfte der weltweiten Reserven ausmacht. Zu den gängigen Wolframerzen gehören Wolframit (hauptsächlich FeWO_4 und MnWO_4) und Scheelit (hauptsächlich CaWO_4). Aufgrund seines hohen Wolframgehalts und seiner leichten Aufbereitungseigenschaften ist Wolframit der Hauptrohstoff für die Herstellung von reinen Wolframelektroden.

Wolframerz wird in der Regel im Tagebau oder unter Tage abgebaut, und das abgebauten Erz wird zerkleinert und gemahlen, um eine feine Partikelgröße mit kleiner Partikelgröße für die anschließende Aufbereitung zu erzeugen. Zu den Aufbereitungsverfahren gehören die Schwerkraftaufbereitung, die Flotation und die magnetische Trennung, bei der Wolframminerale von anderen Verunreinigungen (z. B. Silikate, Sulfide) getrennt werden, um hochwertige Wolframkonzentrate zu erhalten. Der Wolframgehalt des Wolframkonzentrats muss in der Regel bestimmte Standards erfüllen, um die Reinigungsanforderungen zu erfüllen.

Der Reinigungsprozess wird hauptsächlich durch Hydrometallurgie durchgeführt. Zunächst wird Wolframkonzentrat mit Natriumhydroxid oder Natriumcarbonatlösung umgesetzt, um Natriumwolframat (Na_2WO_4)-Lösung herzustellen. Dieser Prozess muss bei hoher Temperatur und hohem Druck durchgeführt werden, um die Effizienz der Reaktion zu verbessern. Anschließend

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

werden unlösliche Verunreinigungen wie Silikon, Eisen usw. durch Filtration aus der Lösung entfernt. Als nächstes wird Natriumwolframat durch Zugabe einer Säure, wie z.B. Salzsäure, in Wolframsäure (H_2WO_4)-Niederschlag umgewandelt. Nach dem Waschen und Trocknen wird Wolframsäurefällung weiter kalziniert, um Wolframtrioxid (WO_3) herzustellen, das ein Zwischenprodukt für die Herstellung von hochreinem Wolframpulver ist. Während des gesamten Reinigungsprozesses müssen der pH-Wert, die Temperatur und die Reaktionszeit der Lösung streng kontrolliert werden, um die Rückstände von Verunreinigungen zu minimieren, die Reinheit von Wolframtrioxid sicherzustellen und die Grundlage für den nachfolgenden Prozess zu legen.

3.1.2 Herstellung von hochreinem Wolframpulver

Hochreines Wolframpulver ist der Kernrohstoff für die Herstellung von reinen Wolframelektroden, und seine Reinheit, Partikelgröße und Morphologie wirken sich direkt auf die Leistung der Elektrode aus. Die Herstellung von Wolframpulver wird in der Regel aus Wolframtrioxid als Ausgangsmaterial hergestellt, das durch das Wasserstoffreduktionsverfahren hergestellt wird. Der konkrete Prozess besteht aus folgenden Schritten:

Zunächst wird Wolframtrioxid in einen Reduktionsofen gegeben, und hochreiner Wasserstoff wird bei hoher Temperatur eingeführt, um Wolframtrioxid allmählich zu Wolframmetallpulver zu reduzieren. Der Reduktionsprozess gliedert sich in zwei Stufen: In der ersten Stufe wird Wolframtrioxid bei einer niedrigeren Temperatur zu Wolframdioxid (WO_2) reduziert, in der zweiten Stufe wird Wolframmetall bei einer höheren Temperatur weiter zu Metall reduziert. Dieser Prozess erfordert eine präzise Steuerung von Temperaturgradienten, Wasserstoffdurchflussraten und Reduktionszeiten, um übermäßige oder agglomerierte Wolframpulverpartikel zu vermeiden. Das reduzierte Wolframpulver wird gesiebt und gereinigt, um Restoxide und Verunreinigungen zu entfernen.

Um die hohen Reinheitsanforderungen von reinen Wolframelektroden zu erfüllen, muss die Reinheit von Wolframpulver in der Regel mehr als 99,95 % erreichen, und der Gehalt an Verunreinigungen (wie Eisen, Nickel, Silizium, Sauerstoff) muss im Spurenbereich streng kontrolliert werden. Darüber hinaus sind auch die Partikelgrößenverteilung und die Morphologie von Wolframpulver entscheidend. Eine zu große Partikelgröße kann zu einer mangelnden Dichte des Sinterkörpers führen, während eine zu kleine Partikelgröße die Schwierigkeit der Kompression erhöhen kann. Daher wird die durchschnittliche Partikelgröße von Wolframpulver normalerweise im Bereich von 1 bis 5 Mikrometern kontrolliert, und die Partikelmorphologie ist vorzugsweise nahezu kugelförmig, um die Fließfähigkeit und Kompressionsleistung zu verbessern.

In den letzten Jahren haben einige Unternehmen fortschrittliche Technologien wie Plasmareduktion oder chemische Gasphasenabscheidung eingeführt, um ultrafeines Wolframpulver herzustellen, das die Reinheit und Gleichmäßigkeit des Pulvers weiter verbessert. Diese Technologien sind zwar kostspielig, bieten aber erhebliche Vorteile bei der Herstellung von Hochleistungselektroden.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

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

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

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

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

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

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

3.2 Pulvermetallurgischer Prozess der reinen Wolframelektrode

Die Pulvermetallurgie ist der Kernprozess der Herstellung von reinen Wolframelektroden, bei dem Wolframpulver durch Pressen, Sintern und Wärmebehandlung in einen Wolframkörper mit hoher Dichte und hoher Festigkeit umgewandelt wird. Dieser Prozess wird bei hohen Temperaturen, Drücken und Vakuum durchgeführt, um die Dichte und die mechanischen Eigenschaften der Elektroden zu gewährleisten.

3.2.1 Pressen von Wolframpulver

Wolframpulver-Pressformen ist der Prozess der Verarbeitung von hochreinem Wolframpulver zu einem grünen Körper mit einer bestimmten Form und Stärke. Ziel dieser Stufe ist es, einen grünen Körper mit gleichmäßiger Dichte und ausreichender Festigkeit zu bilden, um die Grundlage für das anschließende Sintern zu schaffen. Der Pressprozess umfasst hauptsächlich zwei Verfahren: das kaltisostatische Pressen und das Formen.

Das kaltisostatische Pressen ist derzeit das am häufigsten verwendete Pressverfahren, bei dem Wolframpulver in eine flexible Form (z. B. eine Gummiform) geladen und in ein flüssiges Hochdruckmedium gelegt wird, um einen gleichmäßigen Druck (normalerweise 100-300 MPa) auszuüben, damit sich die Pulverpartikel fest binden. Die Vorteile des kaltisostatischen Pressens sind die gleichmäßige Druckverteilung und die gleichmäßige Dichte der Grünkörper, was für die Herstellung großer oder komplexer Formen geeignet ist. Das Formen eignet sich für die Kleinserienproduktion, und das Wolframpulver wird durch unidirektionalen Druck durch die Stahlform geformt, aber es ist einfach, Dichtegradienten zu erzeugen, was eine anschließende Prozessoptimierung erfordert.

Während des Pressvorgangs wird eine kleine Menge Bindemittel (z. B. Polyvinylalkohol oder Paraffin) zugegeben, um die Formfestigkeit des Grünkörpers zu erhöhen, aber das Bindemittel muss vor dem anschließenden Sintern vollständig entfernt werden, um Restverunreinigungen zu vermeiden. Um die Gleichmäßigkeit des Grünkörpers zu gewährleisten, ist es notwendig, die Füllichte und die Pressgeschwindigkeit des Wolframpulvers zu kontrollieren, um Risse oder Delamination zu vermeiden.

3.2.2 Sinterprozess

Beim Sintern wird der gepresste Körper auf eine Temperatur unter dem Schmelzpunkt von Wolfram erhitzt, so dass sich die Pulverpartikel zu einem dichten Material verbinden. Der hohe Schmelzpunkt von Wolfram lässt es bei einer hohen Temperatur sintern, normalerweise zwischen 2000 und 2800 °C. Um Oxidation zu vermeiden, findet das Sintern in einer Vakuum- oder Wasserstoffschutzatmosphäre statt, und zu den gängigen Geräten gehören Vakuum-Sinteröfen oder Wasserstoff-Sinteröfen.

Der Sinterprozess ist in drei Stufen unterteilt: früh, mittel und spät. In der Anfangsphase, bei niedrigen Temperaturen (ca. 1000-1500 °C), verdampft das Bindemittel im Grünkörper, und auf der Oberfläche der Partikel beginnen sich Halsverbindungen zu bilden. In der mittleren Stufe (1500-

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

2200 °C) wird die Bindung zwischen den Partikeln verstärkt, der Grünkörper schrumpft und die Dichte nimmt allmählich zu. In der späteren Phase (2200-2800°C) wächst das Korn und der Grünkörper erreicht die maximale Dichte, die normalerweise 95%-98% der theoretischen Dichte beträgt. Die Sinterzeit und die Temperatur müssen genau gesteuert werden, eine zu hohe Temperatur oder eine zu lange Haltezeit können zu übermäßigem Kornwachstum führen und die mechanischen Eigenschaften des Grünkörpers verringern.

Um die Sintereffizienz zu verbessern, verwenden einige Unternehmen die aktive Sinterertechnologie, die die Sintereremperatur durch Zugabe von Spurenmetallen wie Nickel oder Kobalt senkt, aber es muss sichergestellt werden, dass die Additive die Reinheit der Elektrode nicht beeinträchtigen. Darüber hinaus werden nach und nach neue Technologien wie das IF-Induktionssintern und das Entladungsplasmasintern (SPS) bei der Herstellung von Hochleistungs-Wolframelektroden eingesetzt, die die Sinterzeit erheblich verkürzen und die Dichte des Grünkörpers verbessern können.

3.2.3 Wärmebehandlung und Glühen

Der gesinterte Wolframkörper weist in der Regel innere Spannungen und mikroskopisch kleine Defekte auf, die durch Wärmebehandlung und Glühen beseitigt werden müssen, um das Gefüge zu verbessern. Die Wärmebehandlung wird in der Regel in einer Vakuum- oder Wasserstoffatmosphäre durchgeführt, die Temperatur wird auf 1200-1800 °C geregelt und die Haltezeit wird entsprechend den Größen- und Leistungsanforderungen des Grünkörpers angepasst. Die Wärmebehandlung verfeinert die Körner und verbessert die Zähigkeit und Verarbeitbarkeit des grünen Körpers.

Das Glühen ist ein Verlängerungsschritt der Wärmebehandlung, der darauf abzielt, die Härte und Sprödigkeit des Grünkörpers weiter zu verringern und die Duktilität zu verbessern. Die Glühetemperatur ist in der Regel niedriger als die Wärmebehandlungstemperatur (ca. 800-1200 °C) und wird langsam abgekühlt, um neue Spannungen zu vermeiden. Der geglühte Körper eignet sich eher für die anschließende Druckbearbeitung, wie z. B. Schmieden und Drahtziehen.

3.3 Druckverarbeitung von reinen Wolframelektroden

Bei der Druckbearbeitung wird ein Sinterkörper zu einer Elektrodenstange mit präzisen Abmessungen und Formen bearbeitet, einschließlich Schmieden, Walzen, Ziehen und Ziehen. Die hohe Härte und Sprödigkeit von Wolfram erschweren die Verarbeitung und müssen bei hohen Temperaturen durchgeführt werden, um die Duktilität zu verbessern.

3.3.1 Schmieden und Walzen

Beim Schmieden wird der gesinterte Rohling bei einer hohen Temperatur (ca. 1500-1800 °C) durch Hämmern oder Pressen verformt, um einen Stab- oder Plattenrohling herzustellen. Das Schmieden verfeinert die Körner und erhöht die Dichte und Festigkeit des Körpers, aber die Verformungsgeschwindigkeit muss kontrolliert werden, um Risse zu vermeiden. Das Schmieden erfolgt in der Regel in einer Wasserstoffschutzatmosphäre, um eine Oxidation zu verhindern.

Das Walzen ist ein weiterer Verarbeitungsschritt nach dem Schmieden, bei dem der geschmiedete

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Rohling durch ein Mehrzugwalzwerk zu feineren Stäben oder Drähten gewalzt wird. Die Walztemperatur wird schrittweise gesenkt (von 1500 °C auf 1000 °C), um die Oberflächenqualität und Maßgenauigkeit des Materials zu verbessern. Während des Walzprozesses ist ein periodisches Glühen erforderlich, um Kaltverfestigungen und innere Spannungen zu beseitigen und die Bearbeitbarkeit des Rohlings zu gewährleisten.

3.3.2 Zeichnen und Zeichnen

Beim Drahtziehen werden gewalzte Stangen durch eine Matrize gestreckt, um einen Wolframdraht oder Elektrodenrohling mit kleinerem Durchmesser herzustellen. Das Drahtziehen erfolgt bei hohen Temperaturen (ca. 800-1200°C) unter Verwendung von Hartmetall- oder Diamantmatrizen, um der hohen Härte von Wolfram standzuhalten. Während des Ziehprozesses werden Schmierstoffe wie Graphit oder Molybdändisulfid aufgetragen, um die Reibung und den Werkzeugverschleiß zu reduzieren. Die Verformung jedes Ziehdurchgangs wird in der Regel mit 10 % bis 20 % kontrolliert, und es sind mehrere Glühvorgänge erforderlich, um die Duktilität wiederherzustellen.

Das Ziehen ist eine Erweiterung des Drahtziehens zur Herstellung von Elektrodenrohlingen mit kleinerem Durchmesser (0,5-6,4 mm). Die Genauigkeit des Ziehwerkzeugs wirkt sich direkt auf die Oberflächenqualität und die Maßtoleranz der Elektrode aus, so dass es notwendig ist, die Form regelmäßig zu überprüfen und auszutauschen. Die kontinuierliche Produktion von Drahtziehen und -ziehen kann die Effizienz erheblich steigern, aber die Temperatur und die Ziehgeschwindigkeit müssen streng kontrolliert werden, um Drahtbruch zu vermeiden.

3.3.3 Formen von Elektrodenstäben

Bei der Elektrodenstabformung wird der gezogene Wolframdraht geschnitten, geglättet und gelänget, um einen Elektrodenstab herzustellen, der den Spezifikationen entspricht. Das Schneiden erfolgt in der Regel mechanisch oder lasergeschnitten, um sicherzustellen, dass der Schnitt flach und gratfrei ist. Das Richten erfolgt mit einer Rollenrichtmaschine, um Biegung und innere Spannungen der Stange zu vermeiden. Der Zuschnitt wird nach Kundenwunsch angepasst, und die übliche Länge beträgt 75-600 mm. Die geformten Stäbe werden einer Oberflächeninspektion unterzogen, um sicherzustellen, dass keine Risse, Kratzer oder Oxidationsspuren vorhanden sind.

3.4 Oberflächenbehandlung der Elektrode aus reinem Wolfram

Die Oberflächenbehandlung ist die letzte Stufe der Vorbereitung von reinen Wolframelektroden und zielt darauf ab, die Oberflächenqualität, Schweißbarkeit und Erkennung der Elektrode zu verbessern, einschließlich Reinigung, Polieren und Grünkopfmarkierung.

3.4.1 Reinigen und Polieren

Unter Reinigung versteht man den Prozess der Entfernung von Öl, Oxiden und Verunreinigungen von der Oberfläche des geformten Stabs, in der Regel mit einer Kombination aus chemischer Reinigung und Ultraschallreinigung. Bei der chemischen Reinigung wird eine alkalische Lösung (z. B. Natriumhydroxid) oder eine saure Lösung (z. B. verdünnte Salpetersäure) verwendet, um die Oxidschicht zu entfernen, die dann mit reinem Wasser gespült und getrocknet wird. Bei der

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

Ultraschallreinigung werden hochfrequente Vibrationen verwendet, um winzige Partikel zu entfernen und eine saubere Oberfläche zu gewährleisten.

Das Polieren ist ein entscheidender Schritt zur Verbesserung der Oberflächengüte einer Elektrode, in der Regel durch mechanisches oder elektrochemisches Polieren. Beim mechanischen Polieren wird eine Schleifscheibe oder ein Poliertuch verwendet, um mikroskopisch kleine Kratzer auf der Oberfläche zu entfernen, und beim elektrochemischen Polieren wird die Oberfläche durch Elektrolyse glatter. Die Oberflächenrauheit der polierten Elektrode erreicht Ra1,6-3,2 µm, was zur Verbesserung der Lichtbogenstabilität und der Schweißqualität beiträgt.

3.4.2 Grüne Schmiermarkierungen

Das grüne Beschichtungszeichen ist die internationale Standard-Identifizierungsmethode für reine Wolframelektroden, die den Normen AWS A5.12 und ISO 6848 entspricht. Der Markierungsprozess wird in der Regel an einem Ende der Elektrode mit einer grünen, ungiftigen Farbe (z. B. Umweltschutzfarbe auf Wasserbasis) beschichtet, die gleichmäßig in der Dicke ist, verschleißfest ist und die Schweißleistung nicht beeinträchtigt. Die Markierung des Beschichtungskopfes erfolgt auf einer sauberen Oberfläche, um die Haftung und Haltbarkeit zu gewährleisten. Einige Unternehmen verwenden automatisierte Sprühgeräte, um die Effizienz und Konsistenz der Markierung zu verbessern.

3.5 Qualitätskontrolle von reinen Wolframelektroden

Die Qualitätskontrolle durchläuft jeden Schritt der Herstellung von reinen Wolframelektroden, von den Rohstoffen bis hin zu den fertigen Produkten, und muss auf mehreren Ebenen getestet werden, um die Leistung und Zuverlässigkeit der Elektrode zu gewährleisten.

3.5.1 Qualitätsprüfung der Rohstoffe

Die Qualitätsprüfung von Rohstoffen erfolgt hauptsächlich für Wolframkonzentrat, Wolframtrioxid und Wolframpulver. Wolframkonzentrat muss auf Wolframgehalt und Verunreinigungen (z. B. Schwefel, Phosphor, Silizium) getestet werden. Wolframtrioxid wird mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) oder induktiv gekoppelter Plasmaspektroskopie (ICP-OES) auf Reinheit und Verunreinigung geprüft. Wolframpulver muss auf Partikelgrößenverteilung, Morphologie und Sauerstoffgehalt getestet werden, um sicherzustellen, dass es den Produktionsanforderungen entspricht.

3.5.2 Überwachung des Produktionsprozesses

Die Überwachung des Produktionsprozesses umfasst die Echtzeiterkennung von Pressen, Sintern, Schmieden, Drahtziehen und Oberflächenbehandlung. Die Dichte und Größe des gepressten Grünkörpers muss mit einem Ultraschalldetektor überprüft werden, und die Dichte und Korngröße des gesinterten Grünkörpers müssen mit einem metallographischen Mikroskop analysiert werden. Beim Schmieden und Ziehen müssen Temperatur, Verformung und Oberflächenqualität überwacht werden, um Risse oder Defekte zu vermeiden. Nach der Oberflächenbehandlung werden die Oberflächenrauheit und die Beschichtungsqualität überprüft.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

3.5.3 Inspektion des fertigen Produkts

Die Prüfung des fertigen Produkts umfasst eine umfassende Prüfung der chemischen Zusammensetzung, der physikalischen Eigenschaften, der Maßtoleranzen und der Schweißbarkeit. Die chemische Zusammensetzung wird mittels ICP-OES oder RFA analysiert, um einen \geq Wolframgehalt von 99,5 % zu gewährleisten. Zu den physikalischen Eigenschaften gehören Dichte-, Härte- und Leitfähigkeitstests. Die Maßtoleranzen müssen den Normen (e.g. ISO 6848) entsprechen und die Durchmesserabweichungen müssen auf $\pm 0,05$ mm kontrolliert werden. Schweißleistung: Die Lichtbogenzündungsleistung, die Lichtbogenstabilität und die Elektrodenverbrauchsrate werden durch die Simulation von WIG-Schweißtests bewertet.

3.6 Technische Schwierigkeiten und Innovationen der reinen Wolframelektrode

Die Herstellung von Elektroden aus reinem Wolfram bringt eine Reihe von technischen Schwierigkeiten mit sich, und durch technologische Innovationen wurden in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte erzielt. Unter vier Aspekten wird Folgendes diskutiert: Kontrolle der hohen Reinheit, Optimierung der Kornstruktur, Verbesserung der Produktionseffizienz sowie Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung.

3.6.1 Kontrolle der hohen Reinheit

Hohe Reinheit ist die Kernanforderung an reine Wolframelektroden, und der Gehalt an Verunreinigungen (wie Sauerstoff, Eisen, Kohlenstoff) muss auf ppm-Ebene kontrolliert werden. Zu den technischen Schwierigkeiten gehören die Reinigung von Rohstoffen und das Einbringen von Verunreinigungen in den Produktionsprozess. Zu den Innovationen gehören der Einsatz von Ionenaustausch- und Lösungsmittelextraktionstechnologien zur Verbesserung der Reinheit von Wolframtrioxid, die Verwendung von hochreinem Wasserstoff und Vakuumumgebungen zur Reduzierung der Sauerstoffkontamination während des Reduzierens und Sinterns sowie die Entwicklung von Inline-Technologien zur Erkennung von Verunreinigungen wie der laserinduzierten Breakdown-Spektroskopie für die Echtzeitüberwachung.

3.6.2 Optimierung der Kornstruktur

Die Kornstruktur wirkt sich direkt auf die mechanischen Eigenschaften und die Schweißleistung der Elektrode aus, wobei zu große Körner zu einer erhöhten Sprödigkeit führen und zu kleine Körner die Festigkeit bei hohen Temperaturen verringern. Die technische Herausforderung liegt in der Kontrolle des Kornwachstums während des Sinterns und der Verarbeitung. Zu den Innovationen gehören die Verwendung von Nano-Wolframpulver als Rohstoff, die Kornveredelung durch Schnellsintertechnologie (z. B. SPS) und die Zugabe von Spureninhibitoren (z. B. Aluminiumoxid) zur Kontrolle des Getreidewachstums.

3.6.3 Verbesserung der Produktionseffizienz

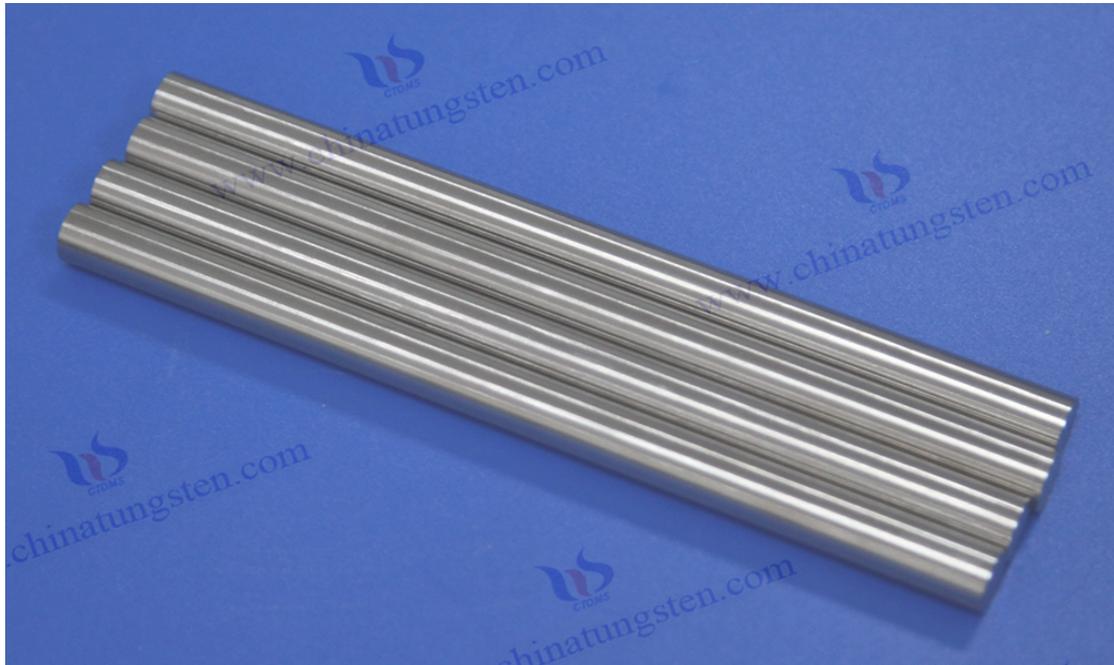
Der Produktionszyklus von reinen Wolframelektroden ist lang und der Energieverbrauch hoch, was die Großserienproduktion einschränkt. Zu den technischen Schwierigkeiten gehören lange Sinterzeiten, schwierige Verarbeitung und hohe Wartungskosten für die Ausrüstung. Zu den Innovationen gehören die Entwicklung von kontinuierlichen Sinteröfen zur Verbesserung der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Produktionseffizienz, der Einsatz automatisierter Drahtzieh- und Oberflächenbehandlungsanlagen zur Senkung der Arbeitskosten sowie die Anwendung intelligenter Fertigungstechnologien wie dem Industrial Internet of Things (IIoT) zur Optimierung von Produktionsprozessen.

3.6.4 Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung

Die Herstellung von Wolframelektroden ist mit einem hohen Energieverbrauch und Abwasseremissionen verbunden und steht unter Umweltdruck. Zu den technischen Herausforderungen gehören die Reduzierung des Energieverbrauchs und die Aufbereitung von wolframhaltigen Abfällen. Zu den Innovationen gehören die Nutzung erneuerbarer Energien für den Antrieb von Produktionsanlagen, die Entwicklung einer Abwasserrecyclingtechnologie und die Einrichtung eines Recyclingsystems für Wolframabfälle, um ein Ressourcenrecycling zu erreichen. Einige Unternehmen haben begonnen, umweltfreundliche Fertigungsmodelle zu erforschen, wie z. B. die Verwendung ungiftiger Lösungsmittel und emissionsarmer Geräte.



Reine Wolframelektroden von CTIA GROUP LTD

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 4 Verwendung von reinen Wolframelektroden

Reine Wolframelektroden (WP-Elektroden) haben aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts, ihrer hervorragenden elektrischen und thermischen Leitfähigkeit und chemischen Stabilität in einer Vielzahl von Industriebereichen eine wichtige Rolle gespielt. Insbesondere in der Schweißindustrie ist die reine Wolframelektrode das Kernmaterial des Wolfram-Argon-Lichtbogenschweißens (WIG-Schweißen), das im AC-Schweißen (AC)-Szenarien weit verbreitet ist. Darüber hinaus bietet es einzigartige Vorteile in anderen industriellen Anwendungen, Spezialbereichen und bestimmten nicht-schweißenden Anwendungen. Die Anwendung von reinen Wolframelektroden hat jedoch auch gewisse Einschränkungen. Dieses Kapitel bietet einen umfassenden Überblick über die Verwendung von reinen Wolframelektroden und deckt Schweißanwendungen, andere industrielle Anwendungen, spezielle Feldanwendungen und deren Grenzen ab.

4.1 Schweißanwendungen

Schweißen ist das wichtigste Anwendungsgebiet von reinen Wolframelektroden, insbesondere beim Wolfram-Argon-Lichtbogenschweißen (WIG-Schweißen) ist die reine Wolframelektrode aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer stabilen Lichtbogeneigenschaften zu einem unverzichtbaren Material geworden. Im Folgenden wird die Anwendung unter drei Aspekten erläutert: WIG-Schweißen, AC-Schweißen und Schweißen von Magnesium, Aluminium und deren Legierungen.

4.1.1 Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG)

Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) ist ein Schweißverfahren, bei dem Wolframelektroden verwendet werden, um einen Lichtbogen unter dem Schutz eines Inertgases wie Argon oder Helium zu erzeugen, und das für seine hohe Präzision, hochwertige Schweißnähte und breite Materialanwendbarkeit bekannt ist. Als früherer Elektrodentyp für das WIG-Schweißen kann die reine Wolframelektrode aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts (3422 °C) und ihrer hervorragenden Hochtemperaturstabilität die strukturelle Integrität in der Umgebung mit hohen Temperaturen des Lichtbogens (ca. 6000-7000 °C) aufrechterhalten, wodurch das Risiko des Schmelzens oder Verbrennens der Elektrode verringert wird. Diese Eigenschaft macht es wertvoll für industrielle Szenarien, in denen qualitativ hochwertige Schweißnähte erforderlich sind.

Beim WIG-Schweißen fungiert die reine Wolframelektrode als nicht schmelzende Elektrode und ist in erster Linie für die Einleitung und Aufrechterhaltung des Lichtbogens verantwortlich, während der Zusatzwerkstoff (falls erforderlich) durch den Schweißdraht bereitgestellt wird. Die Form des Elektrodendes hat einen wesentlichen Einfluss auf die Lichtbogenform und die Schweißqualität. Im Betrieb müssen reine Wolframelektroden oft in eine konische oder halbkugelförmige Form geschliffen werden, um die Konzentration und Stabilität des Lichtbogens zu optimieren. Die Schutzwirkung des Inertgases verhindert die Oxidation der Elektroden und des Schmelzbades und gewährleistet so die Reinheit und die mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht.

Reine Wolframelektroden werden häufig beim WIG-Schweißen eingesetzt und decken eine Vielzahl von Metallmaterialien ab, von dünnen Blechen bis hin zu dicken Blechen, insbesondere in Szenarien,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

in denen das Aussehen und die Leistung der Schweißnaht hoch sind. Beim Schweißen von Edelstahl, Aluminiumlegierungen und Magnesiumlegierungen sorgen reine Wolframelektroden beispielsweise für einen stabilen Lichtbogen und eine saubere Schweißnaht, um den Anforderungen der Präzisionsfertigung gerecht zu werden. Darüber hinaus ist das WIG-Schweißen aufgrund seiner Flexibilität sowohl für das manuelle als auch für das automatisierte Schweißen geeignet, und reine Wolframelektroden zeigen in beiden Modi eine zuverlässige Leistung.

Obwohl reine Wolframelektroden beim WIG-Schweißen weit verbreitet sind, führt ihre hohe Elektronenentwicklungsarbeit (ca. 4,52 eV) zu einer schlechten Lichtbogeninitiierungsleistung, insbesondere beim Gleichstromschweißen (DC). Daher konzentriert sich die Hauptanwendung auf das Wechselstromschweißen, während beim Gleichstromschweißen hauptsächlich Elektroden verwendet werden, die mit Seltenerdoxid dotiert sind (z. B. Cer-Wolfram- oder Lanthan-Wolfram-Elektroden). Trotzdem sind reine Wolframelektroden aufgrund ihrer geringen Kosten, ihrer Nicht-Radioaktivität und ihrer Eignung für bestimmte Materialien eine unverzichtbare Wahl für das WIG-Schweißen.

4.1.2 Anwendungen beim AC-Schweißen (AC).

Das AC-Schweißen (AC) ist eines der Hauptanwendungsszenarien von reinen Wolframelektroden, da es unter der Wechselwirkung von positiven und negativen Halbzyklen des Wechselstroms einen stabilen Lichtbogen bilden kann und sich besonders für das Schweißen von Leichtmetallen mit Oxidfilmen eignet. Beim Wechselstromschweißen werden Wechselströme verwendet, um zwischen der Elektrode und dem Werkstück als Kathode und Anode zu wechseln und so das dynamische Gleichgewicht des Lichtbogens zu erreichen. Der einzigartige Vorteil der reinen Wolframelektrode beim Wechselstromschweißen besteht darin, dass sie eine stabile halbkugelförmige Elektrode bilden kann, und diese Endform trägt dazu bei, die Lichtbogenenergie gleichmäßig zu verteilen und die Schweißqualität zu verbessern.

Beim Wechselstromschweißen erzeugt das halbkugelförmige Ende der reinen Wolframelektrode während des positiven Halbzyklus (Elektrode ist Kathode) eine starke Elektronenemission, die einen Hochtemperaturlichtbogen bildet. Im negativen Halbzyklus (das Werkstück ist die Kathode) erzeugt der Lichtbogen einen "kathodischen Reinigungseffekt" auf dem Oxidfilm auf der Oberfläche des Werkstücks, der die Oxidschicht effektiv entfernt und die Sauberkeit der Schweißnaht sicherstellt. Diese Eigenschaft macht reine Wolframelektroden hervorragend beim Schweißen von Aluminium, Magnesium und deren Legierungen. Darüber hinaus kann die aktuelle Wellenform des Wechselstromschweißens (z. B. Rechteck- oder Sinuswelle) von Schweißgeräten angepasst werden, um die Lichtbogeneigenschaften und die Durchdringung zu optimieren, und reine Wolframelektroden können sich an eine Vielzahl von Wellenformeneinstellungen anpassen, was eine starke Prozessanpassungsfähigkeit zeigt.

Zu den Anwendungsszenarien von reinen Wolframelektroden beim AC-Schweißen gehören das Bauwesen, der Schiffbau, die Automobilindustrie und die Luft- und Raumfahrt. In der Bauindustrie werden beispielsweise Vorhangfassaden und Strukturteile aus Aluminium häufig mit AC-WIG

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

geschweißt, und reine Wolframelektroden können hochwertige Schweißnähte liefern, die den Anforderungen an Aussehen und Festigkeit entsprechen. Im Schiffbau erfordert das Schweißen von Aluminiumrümpfen einen stabilen Lichtbogen und saubere Schweißnähte, und reine Wolframelektroden sind ideal. Darüber hinaus verschafft es seine nicht-radioaktiven Eigenschaften einen Vorteil in Umgebungen, in denen die Sicherheit von entscheidender Bedeutung ist, wie z. B. bei der Herstellung von Lebensmittelverarbeitungsanlagen.

Obwohl reine Wolframelektroden beim Wechselstromschweißen gut abschneiden, kann ihre Lichtbogenstabilität bei hohen Frequenzen oder niedrigen Strömen etwas schlechter sein als bei dotierten Elektroden. Um die Leistung zu verbessern, muss der Bediener das Elektrodenteil regelmäßig schärfen, um es sauber und richtig abgewinkelt zu halten. Darüber hinaus ist die Optimierung von Schweißparametern (z. B. Strom, Gasfluss) unerlässlich, um die Lichtbogenstabilität und die Schweißqualität zu gewährleisten.

4.1.3 Schweißen von Magnesium, Aluminium und deren Legierungen

Magnesium, Aluminium und ihre Legierungen werden aufgrund ihres geringen Gewichts, ihrer hohen Festigkeit und ihrer guten Korrosionsbeständigkeit häufig in der Luft- und Raumfahrt, im Automobilbau und in der Elektronikindustrie eingesetzt. Diese Materialien neigen jedoch zur Bildung von dichten Oxidfilmen (z. B. Al_2O_3 , Schmelzpunkt von ca. 2050 °C) auf der Oberfläche, was eine Herausforderung für den Schweißprozess darstellt. Die "kathodische Reinigung" der reinen Wolframelektroden beim AC-WIG-Schweißen macht sie zum Material der Wahl für das Schweißen von Magnesium, Aluminium und deren Legierungen.

Beim Schweißen von Aluminiumlegierungen entfernt die reine Wolframelektrode den Oxidfilm durch den negativen Halbzyklus des Wechselstroms und liefert gleichzeitig genügend Wärme, um das Substrat während des positiven Halbzyklus zu schmelzen und ein gleichmäßiges Schmelzbad zu bilden. Das Schweißen von Aluminiumlegierungen (z. B. 6061 und 7075) erfordert einen stabilen Lichtbogen und eine moderate Durchdringung, und das halbkugelförmige Ende der reinen Wolframelektrode kann diese Anforderungen erfüllen. Darüber hinaus erfordert die hohe Wärmeleitfähigkeit von Aluminium (ca. 237 W/m·K) einen kontrollierten Wärmeeintrag beim Schweißen, und die hervorragende Wärmeleitfähigkeit von reinen Wolframelektroden trägt dazu bei, die Lichtbogenwärme abzuführen und das Risiko einer Überhitzung zu verringern.

Magnesiumlegierungen (z.B. AZ31, AZ91) werden aufgrund ihrer geringen Dichte (ca. 1,74 g/cm³) häufig im Leichtbau eingesetzt, aber ihr niedriger Schmelzpunkt (ca. 650°C) und ihre hohe chemische Aktivität erschweren das Schweißen. Reine Wolframelektroden sorgen für einen stabilen Lichtbogen beim Schweißen von Magnesiumlegierungen und können zusammen mit einem entsprechenden Inertgasschutz (z. B. Argon oder Argon-Helium-Gemisch) die Oxidation des Schmelzbades wirksam verhindern und die Qualität der Schweißnaht sicherstellen. In der Luft- und Raumfahrt werden häufig reine Wolframelektroden für das Schweißen von Bauteilen aus Magnesiumlegierungen (z.B. Sitzrahmen, Rumpfplatten) verwendet, da sie den Anforderungen an hohe Präzision und Qualität gerecht werden können.

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

Um die Schweißwirkung von Magnesium, Aluminium und deren Legierungen zu optimieren, sollten folgende Punkte beachtet werden: Erstens sollte der Elektrodendurchmesser entsprechend der Dicke und dem Strom des Werkstücks ausgewählt werden, und der üblicherweise verwendete Durchmesser beträgt 1,6 bis 3,2 mm. Zweitens muss der Schutzgasdurchfluss moderat sein (ca. 8-15 l/min), um den Schutz des Schmelzbades zu gewährleisten. Schließlich muss das Elektrodenende regelmäßig in eine halbkugelförmige Form poliert werden, um die Lichtbogenstabilität zu erhalten. Die breite Anwendung von reinen Wolframelektroden beim Schweißen dieser Materialien spiegelt ihre einzigartigen Vorteile im Bereich des AC-Schweißens voll wider.

4.2 Weitere industrielle Anwendungen

Neben dem Schweißen werden Wolframelektroden auch in anderen Industriebereichen eingesetzt, darunter Widerstandsschweißen, Plasmaschneiden und -sprühen, Thermoelektronenemission, Sputtertargets sowie Gegengewichte und Heizelemente. Diese Anwendungen nutzen den hohen Schmelzpunkt, die hohe Dichte und die hervorragenden elektrischen Eigenschaften von Wolfram.

4.2.1 Widerstandsschweißelektroden

Widerstandsschweißen ist ein Schweißverfahren, bei dem Widerstandswärme Metall durch den erzeugten elektrischen Strom schmilzt und ist im Automobilbau, in der Elektronikindustrie und in der Herstellung von Haushaltsgeräten weit verbreitet. Reine Wolframelektroden werden aufgrund ihrer hohen Härte, hohen Leitfähigkeit und Verschleißfestigkeit vor allem beim Punktschweißen und Nahtschweißen häufig bei Widerstandsschweißelektroden eingesetzt. Beim Punktschweißen fungiert eine reine Wolframelektrode als Elektrodenkopf und steht in direktem Kontakt mit dem Werkstück, indem sie einen hohen Strom (Tausende von Ampere) überträgt, um eine lokal hohe Temperatur zu erzeugen, die das Metall schmilzt und eine Lötstelle bildet. Ihr hoher Schmelzpunkt sorgt dafür, dass die Elektrode bei hohen Temperaturen nicht weich wird oder am Werkstück haftet, was die Lebensdauer verlängert.

In der Elektronikindustrie wird das Widerstandsschweißen zum Schweißen von dünnen Blechen (z. B. Kupferfolie, Nickelbleche) oder Miniaturbauteilen eingesetzt, und die hohe Leitfähigkeit und Stabilität von reinen Wolframelektroden sorgen für eine präzise thermische Kontrolle, um eine Überhitzung und Beschädigung empfindlicher Bauteile zu vermeiden. Darüber hinaus eignen sich reine Wolframelektroden aufgrund ihrer Verschleißfestigkeit für Hochfrequenzschweißvorgänge, wie z. B. das kontinuierliche Punktschweißen von Automobilteilen. Obwohl Elektroden aus Kupferlegierungen in einigen Widerstandsschweißszenarien häufiger vorkommen, bieten Elektroden aus reinem Wolfram einzigartige Vorteile bei hochpräzisen und Hochtemperaturanwendungen.

4.2.2 Plasmaschneiden und -spritzen

Das Plasmaschneiden ist ein Verfahren, bei dem ein Hochtemperatur-Plasmalichtbogen (bis zu 20.000 °C) verwendet wird, um Metall zu schmelzen und geschmolzenes Material wegzublasen, und wird häufig beim Schneiden von Stahl, Aluminiumlegierungen und Edelstahl verwendet. Als Kernkomponente der Plasmaschneidpistole ist die reine Wolframelektrode für die Initiierung und

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

Aufrechterhaltung des Plasmalichtbogens verantwortlich. Sein hoher Schmelzpunkt und sein niedriger Dampfdruck ermöglichen es, dass es bei extrem hohen Temperaturen stabil bleibt, wodurch der Elektrodenverbrauch reduziert wird. Darüber hinaus sorgt die Leitfähigkeit der reinen Wolframelektrode für eine schnelle Lichtbogenreaktion und eignet sich für Hochgeschwindigkeits-Schneidanwendungen.

Beim Plasmaspritzen werden reine Wolframelektroden verwendet, um einen Hochtemperatur-Plasmagasstrom zu erzeugen, um Keramik- oder Metallpulver zu schmelzen und auf die Oberfläche des Substrats zu sprühen, um eine verschleißfeste, korrosionsbeständige oder wärmeisolierende Beschichtung zu bilden. Die hohe Temperaturbeständigkeit und chemische Stabilität von reinen Wolframelektroden ermöglichen es ihnen, den rauen Bedingungen des Sprühprozesses standzuhalten und so die Gleichmäßigkeit und Qualität der Beschichtung zu gewährleisten. Der weit verbreitete Einsatz von Plasmaschneiden und -spritzen treibt die Nachfrage nach reinen Wolframelektroden in der Fertigungsindustrie, insbesondere in der Schwerindustrie und Oberflächentechnik, an.

4.2.3 Thermoelektronen emittierende Materialien

Wolframelektroden werden aufgrund ihrer hohen Elektronenaustrittsleistung und ihrer hervorragenden thermischen Elektronenemission häufig in Geräten verwendet, die eine thermische Elektronenemission erfordern, wie z. B. Elektronenmikroskope, Kathodenstrahlröhren (CRTs) und Röntgenröhren. In diesen Geräten fungiert eine reine Wolframelektrode als Kathode, die Elektronen bei hohen Temperaturen (etwa 2000-2500 °C) emittiert, um einen Elektronenstrahl oder -strahl zu bilden. Ihr hoher Schmelzpunkt und ihr niedriger Dampfdruck sorgen für einen langzeitstabilen Betrieb der Elektrode in einer Hochtemperatur-Vakuumumgebung, während ihre chemische Stabilität Reaktionen mit Restgasen verhindert.

Obwohl Wolframelektroden, die mit Seltenerdoxid dotiert sind (z. B. Lanthan-Wolfram-Elektroden), in einigen thermischen Elektronenemissionsanwendungen besser abschneiden, werden reine Wolframelektroden aufgrund ihrer Nicht-Radioaktivität und geringen Kosten immer noch häufig in Geräten mit hohen Sicherheitsanforderungen eingesetzt. Darüber hinaus können reine Wolframelektroden aufgrund ihrer mechanischen Festigkeit hohen Spannungen und Temperaturschocks standhalten, wodurch sie sich für Anwendungen in der Hochleistungselektronik eignen.

4.2.4 Sputtern von Zielen

Sputtern ist eine physikalische Gasphasenabscheidungstechnik (PVD), die zur Abscheidung dünner Schichten auf der Oberfläche eines Substrats verwendet wird und in der Halbleiter-, Solarzellen- und optischen Beschichtungsindustrie weit verbreitet ist. Aufgrund ihrer hohen Reinheit ($\geq 99,95\%$) und hohen Dichte kann die reine Wolframelektrode als Sputtertarget verwendet werden, um Wolframatome unter dem Beschuss hochenergetischer Ionen freizusetzen, um einen einheitlichen Wolframfilm zu bilden. Diese Folien bieten eine hervorragende elektrische Leitfähigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturstabilität und eignen sich daher für die Herstellung

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

von Mikroelektronik, Sensoren und optischen Komponenten.

Die Herstellung von reinen Wolframtargets erfordert eine strenge Kontrolle des Verunreinigungsgehalts und der Kornstruktur, um die Leistung der Folie zu gewährleisten. Die hohe Dichte und Gleichmäßigkeit von reinen Wolframelektroden machen sie ideal für hochwertige Targets. Darüber hinaus sorgen sein hoher Schmelzpunkt und seine chemische Stabilität dafür, dass das Target lange Zeit ohne Degradation in einer Hochvakuum- und Hochtemperatur-Sputterumgebung verwendet werden kann. Mit der rasanten Entwicklung der Halbleiter- und neuen Energieindustrie wächst die Nachfrage nach reinen Wolframelektroden als Sputtertargets weiter.

4.2.5 Gegengewichte und Heizelemente

Die hohe Dichte der reinen Wolframelektroden ($19,3 \text{ g/cm}^3$) macht sie ideal für Gegengewichte und wird häufig in der Luft- und Raumfahrt, in der Automobilindustrie und in der Präzisionsinstrumentierung eingesetzt. In Flugzeugen und Satelliten werden beispielsweise Wolfram-Gegengewichte verwendet, um Strukturen auszubalancieren und die Flugstabilität zu verbessern. Im Rennsport werden Wolframgewichte verwendet, um die Verteilung des Fahrzeugschwerpunkts zu optimieren. Die hohe Dichte von reinem Wolfram ermöglicht es, ein höheres Gewicht bei kleinerem Volumen zu liefern, was herkömmlichen Gegengewichtsmaterialien aus Blei oder Stahl überlegen ist. Darüber hinaus erfüllen seine Ungiftigkeit und Korrosionsbeständigkeit die Umweltauflagen.

Was die Heizelemente betrifft, so werden aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts und ihrer hervorragenden Leitfähigkeit häufig reine Wolframelektroden in Heizelementen von Hochtemperaturöfen (wie z.B. Vakuumöfen und Graphitöfen) eingesetzt. In diesen Geräten sind Wolframelektroden in der Lage, Temperaturen über $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ standzuhalten und stellen eine stabile Wärmequelle für Metallschmelz-, Keramiksinter- und Wärmebehandlungsprozesse dar. Obwohl Wolfram bei hohen Temperaturen anfällig für Oxidation ist, kann ein Schutzgas- oder Vakuumschutz seine Lebensdauer effektiv verlängern.

4.3 Spezielle Feldanwendungen

Reine Wolframelektroden haben wichtige Anwendungen in Spezialbereichen wie der Luft- und Raumfahrt, dem Militär und der Nuklearindustrie, wo die Leistung, Sicherheit und Zuverlässigkeit von Materialien extrem anspruchsvoll sind.

4.3.1 Luft- und Raumfahrtindustrie

Die Luft- und Raumfahrtindustrie stellt extrem strenge Anforderungen an die Schweißqualität und die Materialeigenschaften, und die Anwendung von reinen Wolframelektroden in diesem Bereich konzentriert sich hauptsächlich auf das WIG-Schweißen von Aluminiumlegierungen, Magnesiumlegierungen und Titanlegierungen. Bei der Herstellung von Flugzeugrümpfen, Triebwerkskomponenten und Satellitenstrukturen werden beispielsweise Aluminiumlegierungen (wie 7075, 6061) aufgrund ihres geringen Gewichts und ihrer hohen Festigkeit häufig verwendet. Reine Wolframelektroden werden mit AC-WIG geschweißt, um den Oxidfilm zu entfernen und eine

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

hochwertige Schweißnaht zu bilden, die die Anforderungen an Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit von Luft- und Raumfahrtkomponenten erfüllt.

Darüber hinaus werden Magnesiumlegierungen zunehmend in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt, etwa bei der Herstellung von Hubschrauberantrieben und Sitzrahmen. Der stabile Lichtbogen und die sauberen Schweißbeigenschaften von reinen Wolframelektroden beim Schweißen von Magnesiumlegierungen gewährleisten die Zuverlässigkeit und das geringe Gewicht der Komponenten. Darüber hinaus eignen sich reine Wolframelektroden aufgrund ihrer Nicht-Radioaktivität für die Herstellung von Komponenten für Raumfahrzeuge mit extrem hohen Sicherheitsanforderungen, wie z. B. Satellitengehäuse und Treibstofftanks.

In der Luft- und Raumfahrt werden Wolframelektroden auch beim Plasmaspritzen und bei der Herstellung von Gegengewichten eingesetzt. Beim Plasmaspritzen wird eine hochtemperaturbeständige Beschichtung auf der Oberfläche von Motorschaufeln gebildet, und die Stabilität von reinen Wolframelektroden sichert die Qualität der Beschichtung. Gegengewichte werden verwendet, um die Strukturen von Raumfahrzeugen auszubalancieren, und die hohe Dichte und Ungiftigkeit von reinem Wolfram machen es zu einer idealen Wahl.

4.3.2 Rüstungsindustrie

Die Militärindustrie erfordert eine hohe Temperaturbeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit und hohe Festigkeit der Materialien, und die Anwendung von reinen Wolframelektroden in diesem Bereich umfasst das Schweißen und Bearbeiten von gepanzerten Fahrzeugen, Raketenkomponenten und Waffensystemen. Zum Beispiel werden Aluminiumlegierungen und Edelstahl häufig bei der Herstellung von gepanzerten Fahrzeugen verwendet, und reine Wolframelektroden sorgen für hochwertige Schweißnähte durch WIG-Schweißen, wodurch die strukturelle Festigkeit verbessert wird. Bei der Herstellung von Raketenkomponenten, wie z. B. Suchergehäusen, erfüllt die präzise Lichtbogensteuerung von reinen Wolframelektroden den Bedarf an hochpräzisem Schweißen.

Darüber hinaus spielen reine Wolframelektroden auch eine Rolle beim Plasmaschneiden und bei thermischen Elektronenemissionsanwendungen in der Militärindustrie. Das Plasmaschneiden wird zur Bearbeitung von hochfesten Stahl- und Titanlegierungen eingesetzt, und die hohe Temperaturbeständigkeit von reinen Wolframelektroden sorgt für Schneideffizienz und Präzision. Die thermische Elektronenemission wird in militärischen Radaren und elektronischen Röhren für Kommunikationsgeräte verwendet, und die Stabilität von reinen Wolframelektroden gewährleistet den langfristigen Betrieb der Ausrüstung. Die nicht-radioaktive Natur von reinen Wolframelektroden macht sie im militärischen Bereich noch vorteilhafter, insbesondere in Szenarien, in denen strenge Anforderungen an die Umwelt- und Personensicherheit gestellt werden.

4.3.3 Nuklearindustrie

Die Nuklearindustrie stellt extrem hohe Anforderungen an die Strahlungsbeständigkeit, die hohe Temperaturbeständigkeit und die chemische Stabilität von Materialien, und reine Wolframelektroden haben wichtige Anwendungen bei der Herstellung von Kernreaktorkomponenten, Brennstabgehäusen und Versuchsgeräten. So werden beispielsweise

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

reine Wolframelektroden häufig für das Schweißen von Aluminiumlegierungen und Edelstahl in den Kühlsystemen und Strukturteilen von Kernreaktoren verwendet, da sie fehlerfreie Schweißnähte liefern, die die Anforderungen an die Strahlenbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit erfüllen.

In der Kernfusionsforschung (z.B. dem International Thermonuclear Fusion Experimental Reactor (ITER)) wird Wolfram aufgrund seines hohen Schmelzpunkts und seiner geringen Sputterrate als plasmaorientiertes Material (PFM) eingesetzt. Reine Wolframelektroden spielen beim Schweißen und Bearbeiten dieser Bauteile eine Rolle, und ihre hohe Reinheit und Stabilität sichern die Leistungsfähigkeit der Bauteile. Darüber hinaus werden reine Wolframelektroden auch in Gegengewichten und Heizelementen in der Nuklearindustrie eingesetzt, wie z. B. Gegengewichte zur Strahlenabschirmung und Heizelemente für Hochtemperatur-Versuchsöfen.

Die nicht-radioaktive Natur von reinen Wolframelektroden macht sie in der Nuklearindustrie vorteilhafter und schneidet in Bezug auf Sicherheit und Umweltschutz besser ab als thoriierte Wolframelektroden (die radioaktives Thoriumoxid enthalten). Die rasante Entwicklung der Nuklearindustrie bietet eine breite Perspektive für die Anwendung von reinen Wolframelektroden.

4.4 Einschränkungen der Anwendung

Obwohl reine Wolframelektroden in einer Vielzahl von Bereichen weit verbreitet sind, schränken ihre Leistungseinschränkungen ihren Einsatz in bestimmten Szenarien ein. Im Folgenden werden die Mängel unter zwei Aspekten analysiert: Gleichstromschweißen sowie Elektrodenverschleiß und Lebensdauer.

4.4.1 Mängel beim Gleichstromschweißen (DC).

Die Haupteinschränkung von reinen Wolframelektroden beim Gleichstromschweißen (DC) ist ihre hohe Elektronenarbeit (ca. 4,52 eV), die zu einer schwierigen Lichtbogeninitiierung und Lichtbogeninstabilität führt. Bei der positiven Gleichstromschaltung (DCSP) muss die Elektrode als Kathode eine große Anzahl von Elektronen emittieren, und die hohe Elektronenaustrittsarbeit bewirkt, dass der Lichtbogen mit einer höheren Spannung beginnt, was anfällig für Lichtbogensprünge oder -unterbrechungen ist. Bei der umgekehrten Gleichpolarität (DCRP) ist die Elektrode als Anode einer höheren Wärmebelastung ausgesetzt, was zu einer Überhitzung und einem schnellen Verbrauch führen kann.

Im Gegensatz dazu haben Elektroden, die mit Seltenerdoxid dotiert sind (z. B. Cer-Wolfram- und Lanthan-Wolfram-Elektroden), eine geringere Elektronenaustrittsleistung (ca. 2,7-3,2 eV) und eine bessere Lichtbogeneinleitungsleistung und Lichtbogenstabilität beim Gleichstromschweißen. Daher ist die Anwendung von reinen Wolframelektroden beim Gleichstromschweißen hauptsächlich auf Szenarien mit geringer Nachfrage beschränkt, wie z. B. Niedrigstromschweißen oder temporäre Reparaturen, während beim hochpräzisen oder hocheffizienten Gleichstromschweißen meist dotierte Elektroden verwendet werden. Um diese Einschränkung zu mildern, kann die Lichtbogeninitiierungsleistung durch Optimierung der Schweißausrüstung (z. B. Hochfrequenz-Lichtbogenstart) oder Anpassung des Winkels an der Oberseite der Elektrode verbessert werden, aber der Effekt ist begrenzt.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

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

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

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

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

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

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

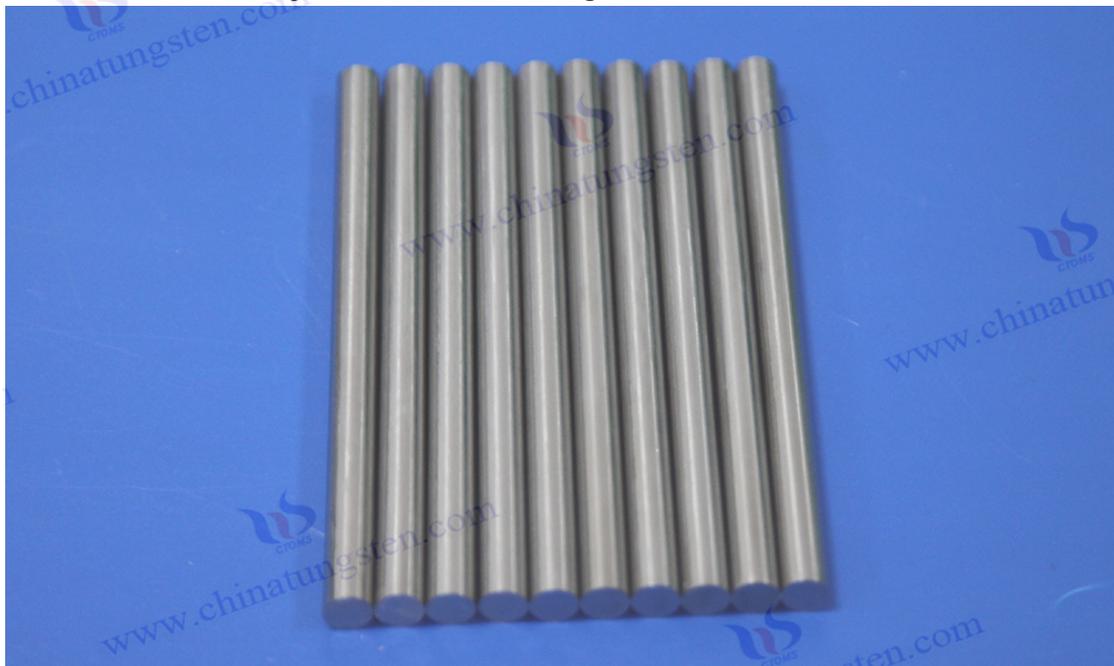
Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

4.4.2 Elektrodenverschleiß und Probleme mit der Lebensdauer

Eine weitere große Einschränkung von reinen Wolframelektroden ist der Elektrodenverschleiß und die Lebensdauer. Beim Hochstromschweißen ($>200\text{ A}$) oder beim Langzeit-Dauerschweißen beschleunigt die hohe Endtemperatur der reinen Wolframelektrode aufgrund der hohen Elektronenarbeit die Verflüchtigung und den Verbrennungsverlust des Materials, was sich in der allmählichen Verkürzung der Elektrodenlänge und der Änderung der Endmorphologie äußert. Beim Wechselstromschweißen verlangsamt die Bildung von halbkugelförmigen Enden den Verschleiß teilweise, aber die Verschleißrate bleibt bei hohen Frequenzen oder bei instabilen Strömen hoch.

Darüber hinaus können Verunreinigungen der Elektrodenoberfläche (z. B. Oxide, Öl) oder unsachgemäße Handhabung (z. B. Elektrodenkontakt mit dem Schmelzbad) den Verschleiß weiter verschlimmern und die Lichtbogenstabilität verringern. Um die Lebensdauer der Elektrode zu verlängern, muss das Elektrodenteil regelmäßig poliert werden, um seine Sauberkeit und die richtige Endform zu erhalten. Häufiges Schleifen erhöht jedoch die Betriebskosten und den Zeitaufwand, insbesondere beim automatisierten Schweißen, was sich auf die Produktivität auswirken kann. Im Gegensatz dazu haben dotierte Elektroden, wie z. B. Lanthan-Wolfram-Elektroden, aufgrund ihrer geringeren Verbrauchsrate und einer stabileren Endmorphologie typischerweise eine längere Lebensdauer.

Um Verschleiß- und Lebensdauerprobleme zu überwinden, kann die Leistung durch die Optimierung von Schweißparametern (z. B. Reduzierung des Stroms, Erhöhung des Gasschutzes), Verbesserung der Elektrodenherstellungsprozesse (z. B. Kornfeinung) oder die Entwicklung neuer Elektrodenmaterialien verbessert werden. Diese Verbesserungen können jedoch die Kosten erhöhen und erfordern einen Kompromiss zwischen Leistung und Wirtschaftlichkeit.



Reine Wolframelektrode von CTIA GROUP LTD

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 5 Produktionsanlagen für reine Wolframelektroden

Die Herstellung von reinen Wolframelektroden (WP-Elektroden) umfasst eine komplexe Prozesskette vom Rohstoffhandling bis zur Inspektion des fertigen Produkts, die jeweils spezielle Geräte erfordert, um die Produktqualität und Produktionseffizienz sicherzustellen. Die Produktionsanlagen umfassen das Rohstoffhandling, die Pulvermetallurgie, die Druckverarbeitung, die Oberflächenbehandlung, die Prüfung und Qualitätskontrolle sowie die Automatisierung und intelligente Systeme. Diese Geräte müssen eine hohe Präzision, eine hohe Zuverlässigkeit sowie eine hohe Temperatur- und Korrosionsbeständigkeit aufweisen, um dem hohen Schmelzpunkt und den hohen Härteeigenschaften von Wolfram gerecht zu werden. In diesem Kapitel werden die verschiedenen Arten von Geräten, die bei der Herstellung von reinen Wolframelektroden verwendet werden, im Detail erörtert und ihre Funktionen, Eigenschaften und technologischen Entwicklungstrends analysiert.

5.1 Rohmaterialaufbereitungsanlagen für reine Wolframelektroden

Die Rohstoffhandhabung ist der erste Schritt bei der Herstellung von reinen Wolframelektroden, der den Umwandlungsprozess von Wolframerz in hochreines Wolframpulver umfasst, der den Einsatz spezieller Geräte zum Zerkleinern, Mahlen und chemischen Reinigen erfordert. Diese Anlagen müssen effizient, stabil und umweltfreundlich sein, um die Produktionsanforderungen von hochreinem Wolframpulver zu erfüllen.

5.1.1 Wolframerzzerkleinerungs- und Mahlanlagen

Wolframerz (z. B. Wolframit oder Scheelit) wird in der Mine abgebaut und anschließend zerkleinert und gemahlen, um feine Partikel zu erzeugen, die für die Aufbereitung geeignet sind. Zu den Zerkleinerungs- und Mahlanlagen gehören hauptsächlich folgende Typen:

Backenbrecher: wird für die Primärzerkleinerung verwendet, um große Wolframerzstücke (bis zu einer Größe von 1-2 m) in 50-100 mm Partikel zu zerkleinern. Der Backenbrecher zerkleinert das Erz durch die Extrusion der beweglichen Backe und der festen Backe, und die Ausrüstung muss hochfeste verschleißfeste Materialien (wie Manganstahl) verwenden, um der hohen Härte des Wolframerzes gerecht zu werden. Moderne Backenbrecher sind mit einem hydraulischen Einstellsystem ausgestattet, mit dem die Partikelgröße des Austrags genau gesteuert und die Zerkleinerungseffizienz verbessert werden kann.

Kegelbrecher: wird für die mittlere und feine Zerkleinerung verwendet, um das Erz nach der Primärzerkleinerung auf 5-20 mm weiter zu zerkleinern. Der Kegelbrecher erreicht eine kontinuierliche Zerkleinerung durch die Extrusionswirkung des rotierenden Kegels und des festen Kegels und ist für die Verarbeitung von Erzen mit hoher Härte geeignet. Seine Vorteile sind ein großes Zerkleinerungsverhältnis und eine hohe Leistung, die für die Verarbeitung von Wolframerz in großem Maßstab geeignet ist.

Kugelmühle: wird zum Mahlen verwendet, wobei das zerkleinerte Erz zu einem feinen Pulver von

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

0,1-1 mm gemahlen wird, um es für die Aufbereitung vorzubereiten. Die Kugelmühle zerkleinert Materialien durch die Kollision und Reibung zwischen den Stahlkugeln und dem Erz, und die Auskleidung besteht aus verschleißfestem Keramik- oder Chromstahl, um die Lebensdauer zu verlängern. Nasskugelmühlen werden häufig für die Vermahlung von Wolframerz verwendet, was die Staubbelastung reduziert und die Mahleffizienz durch Zugabe von Wassermedium verbessert.

Vibrationssieb: wird zum Sortieren und Aussieben von Mineralpulvern mit gleichmäßiger Partikelgröße verwendet. Das Vibrationssieb trennt Materialien mit unterschiedlichen Partikelgrößen durch hochfrequente Vibrationen, um sicherzustellen, dass die Partikelgröße des Mineralpulvers, das in den Aufbereitungsprozess gelangt, konstant ist. Moderne Vibrationssiebe sind mit mehrschichtigen Sieben ausgestattet, die eine mehrstufige Sortierung realisieren und die Effizienz der Mineralaufbereitung verbessern können.

Diese Anlagen müssen mit einem Entstaubungssystem ausgestattet sein, um die Staubkontamination zu reduzieren, und mit einem automatisierten Steuerungssystem, um Betriebsparameter wie Brechdruck, Mahlzeit und Siebhäufigkeit zu optimieren. In den letzten Jahren sind intelligente Brechanlagen allmählich populär geworden, und die Echtzeitüberwachung und Fehlerdiagnose durch Sensoren und SPS (speicherprogrammierbare Steuerungen) haben die Effizienz und Sicherheit der Produktion verbessert.

5.1.2 Chemische Reinigungsanlagen

Bei der chemischen Reinigung handelt es sich um den Prozess der Umwandlung von Wolframkonzentrat in hochreines Wolframtrioxid (WO_3) oder Wolframsäure (H_2WO_4), der Schritte wie Auflösung, Filtration, Fällung und Trocknung umfasst. Zu den häufig verwendeten Geräten gehören:

Reaktionskessel: Er wird für die Reaktion von Wolframkonzentrat mit Natriumhydroxid oder Natriumcarbonat verwendet, um Natriumwolframatlösung zu erzeugen. Reaktoren müssen aus korrosionsbeständigen Materialien wie Edelstahl oder Emaille hergestellt werden, um hohen Temperaturen, Drücken und starken Alkaliumgebungen standzuhalten. Moderne Reaktoren sind mit Rührsystemen und Temperiergeräten ausgestattet, um gleichmäßige und effiziente Reaktionen zu gewährleisten.

Filter: Wird verwendet, um unlösliche Verunreinigungen (wie Silikat, Eisenverbindungen) in der Lösung zu entfernen. Vakuumfilter oder Filterpressen sind häufig verwendete Geräte, um die Reinheit der Lösung durch mehrstufige Filtration zu gewährleisten. Der Filter muss mit einem korrosionsbeständigen Filtertuch und einem automatisierten Reinigungssystem ausgestattet sein, um die Lebensdauer zu verlängern und die manuelle Handhabung zu reduzieren.

Sedimentationsbecken: Es wird verwendet, um Natriumwolframatlösung durch Ansäuerungsreaktion in Wolframsäurefällung umzuwandeln. Sedimentationsbecken müssen mit einer präzisen pH-Kontrolle und Rührung ausgestattet sein, um die Gleichmäßigkeit und Reinheit

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

der ausgefallenen Partikel zu gewährleisten. Einige fortschrittliche Geräte verwenden Online-pH-Monitore, um die Menge der zugesetzten Säure in Echtzeit anzupassen.

Trockenofen: wird zum Trocknen von Wolframsäurefällung oder Wolframtrioxid verwendet, um trockene Zwischenprodukte vorzubereiten. Trockenschränke sind in der Regel elektrisch oder gasbeheizt und müssen über ein gleichmäßiges Temperaturfeld und einen Schutzgas verfügen, um eine Oxidation des Materials zu verhindern. Moderne Trockenschränke sind mit Vakuumsystemen ausgestattet, die eine Trocknung bei niedrigeren Temperaturen ermöglichen und den Energieverbrauch senken.

Chemische Reinigungsgeräte müssen Prozessparameter (wie Temperatur, Druck, Lösungskonzentration) streng kontrollieren, um sicherzustellen, dass die Reinheit von Wolframtrioxid mehr als 99,95 % erreicht. Darüber hinaus sind Abwasseraufbereitungsanlagen wie Neutralisationstanks und Absetzbecken ein unverzichtbarer Bestandteil des Reinigungsprozesses zur Aufbereitung von wolframhaltigen Abfallflüssigkeiten, die den Umweltauflagen entsprechen.

5.2 Pulvermetallurgische Ausrüstung für reine Wolframelektroden

Die Pulvermetallurgie ist der Kernprozess der Herstellung von reinen Wolframelektroden, der das Pressen, Sintern und die Wärmebehandlung von Wolframpulver umfasst und hochpräzise, hochtemperaturbeständige Geräte erfordert, um die Dichte und Leistung des Grünkörpers zu gewährleisten.

5.2.1 Pressen

Die Presse wird verwendet, um hochreines Wolframpulver in einen grünen Körper mit einer bestimmten Form und Festigkeit zu pressen, und die übliche Ausrüstung umfasst:

Kaltisostatische Presse: Ein gleichmäßiger Druck (100-300 MPa) wird durch ein flüssiges Hochdruckmedium (wie Wasser oder Öl) auf Wolframpulver angewendet, um einen grünen Körper mit gleichmäßiger Dichte zu erzeugen. Kaltisostatische Pressen verwenden flexible Formen (z. B. Gummi- oder Polyurethanformen) und eignen sich für die Herstellung großer oder komplexer Formen. Die Ausrüstung muss mit Hochdruckpumpen und Dichtungssystemen ausgestattet sein, um einen stabilen Druck und einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. Moderne Kaltisostatischen Pressen sind mit automatisierten Be- und Entladesystemen ausgestattet, um die Produktionseffizienz zu verbessern.

Formmaschine: Durch eine Stahlmatrize wird ein Einwegdruck auf Wolframpulver ausgeübt, der für die Herstellung kleiner Chargen oder einfacher Formen von Grünkörpern geeignet ist. Die Formmaschine muss eine hochfeste Form (z. B. Hartmetall) verwenden, um der hohen Härte von Wolframpulver standzuhalten. Die Anlage ist in der Regel mit einem hydraulischen oder mechanischen Antriebssystem ausgestattet, das eine präzise Steuerung der Presskraft (50-200 MPa) und der Pressgeschwindigkeit ermöglicht.

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

Die Presse muss mit einer Pulverfüllvorrichtung und einem Bindemittelsprühsystem ausgestattet sein, um die Gleichmäßigkeit des Wolframpulvers und die Formfestigkeit des Grünkörpers zu gewährleisten. Darüber hinaus ist die Staubkontrolle während des Pressvorgangs von entscheidender Bedeutung und erfordert ein Unterdruck-Saugsystem, um die Betriebsumgebung zu schützen.

5.2.2 Sinteröfen

Mit dem Sinterofen wird der gepresste Grünkörper auf 2000-2800°C erhitzt, so dass sich die Wolframpulverpartikel zu einem hochdichten Grünkörper verbinden. Zu den häufig verwendeten Sinteröfen gehören:

Vakuum-Sinterofen: Sintern in einer Vakuumumgebung (10^{-3} - 10^{-5} Pa), um die Oxidation des Wolframkörpers zu vermeiden. Der Vakuum-Sinterofen verwendet Molybdän- oder Graphit-Heizelemente und weist eine hohe Temperaturfeldgleichmäßigkeit auf, die für die Herstellung von hochreinen Elektroden geeignet ist. Das Gerät ist mit einer mehrstufigen Vakuumpumpe und einem Kühlsystem ausgestattet, um schnell ein Hochvakuum zu erreichen und die Kühlrate zu steuern.

Wasserstoff-Sinterofen: Beim Sintern unter dem Schutz von hochreinem Wasserstoff kann Wasserstoff Restoxide reduzieren und die Reinheit des Grünkörpers verbessern. Wasserstoff-Sinteröfen müssen mit Gaszirkulations- und -reinigungssystemen ausgestattet sein, um die Reinheit des Wasserstoffs ($\geq 99,999\%$) zu gewährleisten und Leckagen zu verhindern. Moderne Sinteröfen nutzen die mittelfrequente Induktionserwärmungstechnik, um schnell aufzuheizen und den Energieverbrauch zu senken.

Der Sinterofen muss mit einem präzisen Temperatursystem (z. B. Infrarot-Thermometer) und einem Atmosphärenüberwachungsgerät ausgestattet sein, um die Stabilität des Sinterprozesses und die Qualität des Grünkörpers zu gewährleisten. In den letzten Jahren wurden zunehmend Entladungsplasma-Sinteröfen (SPS) bei der Herstellung von Hochleistungs-Wolframelektroden eingesetzt, die sich mit elektrischen Impulsen schnell aufheizen, um die Sinterzeit zu verkürzen und die Körner zu verfeinern.

5.2.3 Vakuum-Wärmebehandlungsöfen

Der Vakuum-Wärmebehandlungsöfen wird für die Wärmebehandlung und das Glühen des gesinterten Grünkörpers verwendet, um innere Spannungen zu beseitigen und die Mikrostruktur zu verbessern. Zu den Funktionen gehören:

Hochtemperatur-Vakuumumgebung: Die Wärmebehandlungstemperatur beträgt 1200-1800 °C und der Vakuumgrad 10^{-3} - 10^{-4} Pa, um eine Oxidation des Grünkörpers zu verhindern. Der Ofenkörper besteht aus Molybdän- oder Wolfram-Heizelementen und ist mit einem Wasserkühlsystem ausgestattet, um die Ofenstruktur zu schützen.

Präzise Temperaturregelung: Thermoelemente und PID-Regler erreichen eine Temperaturgenauigkeit von ± 5 °C, um gleichbleibende Wärmebehandlungsergebnisse zu

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

gewährleisten. Einige der fortschrittlichen Geräte sind mit mehrstufigen Temperaturregelungsprogrammen ausgestattet, mit denen komplexe Wärmebehandlungsprozesse realisiert werden können.

Schutz vor Inertgasen: Einige Wärmebehandlungsöfen unterstützen den Schutz vor Argon oder Stickstoff für bestimmte Prozessanforderungen. Das Gaszirkulationssystem verbessert den thermischen Wirkungsgrad und senkt den Gasverbrauch.

Vakuum-Wärmebehandlungsöfen erfordern eine regelmäßige Wartung der Heizelemente und Vakuumsysteme, um einen langfristig stabilen Betrieb zu gewährleisten. Der intelligente Wärmebehandlungsöfen überwacht die Knüppeltemperatur und die Spannungsverteilung in Echtzeit durch Sensoren, um die Wärmebehandlungsparameter zu optimieren.

5.3 Druckaufbereitungsanlagen für reine Wolframelektroden

Die Druckbearbeitung ist ein wichtiger Schritt bei der Verarbeitung von gesinterten Grünkörpern zu Elektrodenbarren, die Prozesse wie Schmieden, Walzen und Drahtziehen umfassen, was den Einsatz von Hochtemperatur- und Hochfestigkeitsverarbeitungsgeräten erfordert.

5.3.1 Schmiedemaschinen

Die Schmiedemaschine wird verwendet, um den gesinterten Rohlingskörper bei hoher Temperatur (1500-1800 °C) zu verformen, um einen Stab- oder Plattenrohling herzustellen. Zu den häufig verwendeten Geräten gehören:

Hydraulische Schmiedemaschine: Das Hydrauliksystem übt einen hohen Druck (1000-5000 kN) aus, um den Grünkörper allmählich zu verformen. Die Anlage muss mit einem Hochtemperatur-Heizofen und einem Wasserstoffschutzsystem ausgestattet sein, um die Oxidation des Grünkörpers zu verhindern. Die hydraulische Schmiedemaschine eignet sich für die Herstellung von großformatigen Rohlingen mit hoher Verformungsgenauigkeit.

Drucklufthammer: Der Hammerkopf wird durch Pneumatik angetrieben, um einen schnellen Aufprall auf den Knüppel zu erzielen, der zum Schmieden von kleinen und mittelgroßen Knüppeln geeignet ist. Der Drucklufthammer ist flexibel zu bedienen, aber das Ausmaß der Verformung muss manuell gesteuert werden, was für die Produktion von Kleinserien geeignet ist.

Die Schmiedemaschine muss mit einem hochfesten Gesenk- und Schmiersystem ausgestattet sein, um die Reibung zwischen Körper und Gesenk zu verringern. Moderne Schmiedemaschinen verfügen über ein automatisches Steuerungssystem, mit dem die Schmiedekraft und -temperatur in Echtzeit angepasst werden können, um die Produktionseffizienz zu verbessern.

5.3.2 Walzwerke

Walzwerke werden verwendet, um geschmiedete Rohlinge zu schlanken Stangen oder Drähten weiterzuverarbeiten, und zu den gängigen Ausrüstungen gehören:

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

Warmwalzwerk: Rohlinge werden in mehreren Durchgängen bei 1000-1500°C zu Stangen mit einem Durchmesser von 5-20 mm gewalzt. In Warmwalzwerken werden Hartmetall- oder Keramikwalzen verwendet, um der hohen Härte von Wolfram standzuhalten. Die Anlage ist mit einem Heizofen und einem Kühlsystem ausgestattet, um die Walztemperatur und die Oberflächenqualität zu gewährleisten.

Kaltwalzwerk: wird zum Fertigwalzen verwendet, um die Maßgenauigkeit und Oberflächengüte der Stange weiter zu verbessern. Kaltwalzwerke müssen mit hochpräzisen Walzen und Schmiersystemen ausgestattet werden, um die Kaltverfestigung zu reduzieren.

Das Walzwerk muss regelmäßig an den Walzen und dem Antriebssystem gewartet werden, um die langfristige Betriebsstabilität zu gewährleisten. Automatisierte Walzwerke verwenden Sensoren zur Überwachung von Walzkräften und Stangengrößen, um die Prozesskonsistenz zu verbessern.

5.3.3 Drahtziehmaschinen

Drahtziehmaschinen werden verwendet, um gewalzte Stangen zu Elektrodenrohlingen mit einem Durchmesser von 0,5-6,4 mm zu strecken, zur gängigen Ausrüstung gehören:

Einmatrikulierte Drahtziehmaschine: Streckt die Stange einzeln durch eine einzige Form, die für die Kleinserienproduktion geeignet ist. Die Ausrüstung muss mit Hartmetall- oder Diamantmatrizen ausgestattet sein, um der hohen Härte und Reibung von Wolfram standzuhalten.

Kontinuierliche Drahtziehmaschine: kontinuierliches Strecken durch mehrere Matrizen zur Verbesserung der Produktionseffizienz. Die kontinuierliche Drahtziehmaschine ist mit einem Schmiersystem (z. B. Graphitemulsion oder Molybdädisulfid) und einer Glühvorrichtung ausgestattet, um das Risiko eines Drahtbruchs zu verringern.

Ziehmaschinen müssen die Zuggeschwindigkeit und Temperatur (800-1200 °C) genau steuern, um Risse oder Oberflächenfehler zu vermeiden. Moderne Drahtziehmaschinen werden durch Servomotoren und SPS gesteuert, um ein hochpräzises Dehnen zu erreichen.

5.4 Oberflächenbehandlungsgeräte für reine Wolframelektroden

Oberflächenbehandlungsgeräte werden verwendet, um die Oberflächenqualität und die Erkennung von Elektroden zu verbessern, einschließlich Reinigen, Polieren und Markieren des Beschichtungskopfes.

5.4.1 Reinigungsgeräte

Reinigungsgeräte werden verwendet, um Öl, Oxide und Verunreinigungen von der Elektrodenoberfläche zu entfernen. Zu den häufig verwendeten Geräten gehören:

Ultraschallreiniger: Entfernung von feinen Oberflächenpartikeln durch hochfrequente Ultraschallschwingungen (20-40 kHz), meist in alkalischer Lösung oder reinem Wasser. Das Gerät

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

muss mit einem Mehrtank-Reinigungssystem ausgestattet sein, das eine mehrstufige Reinigung und Spülung unterstützt.

Chemisches Reinigungsbad: Verwendet verdünnte Säuren (z. B. verdünnte Salpetersäure) oder alkalische Lösungen (z. B. Natriumhydroxid), um die Oxidschicht zu entfernen. Der Reinigungsbehälter sollte aus einem korrosionsbeständigen Material (z.B. PTFE) bestehen und mit Rührwerk und Heizung ausgestattet sein.

Die Reinigungsanlage muss mit einem Abfallbehandlungssystem ausgestattet sein, um wolframhaltige Abfallflüssigkeiten zurückzugewinnen, um die Anforderungen des Umweltschutzes zu erfüllen. Die automatisierte Reinigungslinie kann eine kontinuierliche Reinigung realisieren und die Effizienz verbessern.

5.4.2 Poliermaschinen

Poliermaschinen werden verwendet, um die Oberflächengüte von Elektroden zu verbessern, und zu den gängigen Geräten gehören:

Mechanische Poliermaschine: Oberflächenkratzer werden mittels einer Schleifscheibe oder einem Poliertuch mit einer Oberflächenrauheit von bis zu Ra 0,2-0,4 μm entfernt. Das Gerät muss mit einem mehrstufigen Polierkopf ausgestattet sein, um das Grob- und Feinpolieren zu unterstützen.

Elektrochemische Poliermaschine: Glättet die Oberfläche durch Elektrolyse und verbessert so das Finish und die Korrosionsbeständigkeit. Die elektrochemische Poliermaschine muss mit einer stabilen Stromversorgung und einem Elektrolytzirkulationssystem ausgestattet sein, um eine gleichmäßige Politur zu gewährleisten.

Die Poliermaschine muss das Poliermedium wechseln und die Elektrolytzusammensetzung regelmäßig überprüfen, um die Polierqualität zu erhalten. Die automatisierte Polieranlage wird mittels eines Roboterarms präzise bedient.

5.4.3 Ausrüstung des Applikators

Der Applikator wird verwendet, um eine grüne Markierung an einem Ende der Elektrode aufzubringen und entspricht den Standards AWS A5.12 und ISO 6848. Zu den häufig verwendeten Geräten gehören:

Automatische Spritzmaschine: Die grüne Farbe auf Wasserbasis wird durch die Spritzpistole gleichmäßig auf die Elektrode aufgetragen. Die Maschine ist mit einem präzisen Positioniersystem ausgestattet, um eine gleichmäßige Schichtdicke (ca. 0,1-0,2 mm) zu gewährleisten.

Trockenofen: Wird zum Aushärten von Beschichtungen verwendet, die Temperatur wird auf 100-150°C mit Heißluftzirkulation oder Infrarotheizung geregelt. Der Trockenofen muss über eine schnelle Aufheizung und ein gleichmäßiges Temperaturfeld verfügen, um die Haftung der

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Beschichtung zu gewährleisten.

Die Applikatorausrüstung muss die Düsen regelmäßig reinigen und die Qualität des Lacks überprüfen, um Beschichtungsfehler zu vermeiden. Die intelligente Beschichtungskopfausrüstung kann die Sprühposition über das visuelle Erkennungssystem automatisch anpassen.

5.5 Prüf- und Qualitätskontrollgeräte für reine Wolframelektroden

Prüf- und Qualitätskontrollgeräte werden eingesetzt, um sicherzustellen, dass die chemische Zusammensetzung, die Mikrostruktur und die physikalischen Eigenschaften von Elektroden den Normen entsprechen, die die Prüfung von Rohstoffen, Halbfabrikaten und Fertigprodukten abdecken.

5.5.1 Analytoren für die chemische Zusammensetzung

Analytoren für die chemische Zusammensetzung werden verwendet, um den Reinheits- und Verunreinigungsgehalt von Wolframpulver und -elektroden zu testen, und zu den häufig verwendeten Geräten gehören:

Induktiv gekoppeltes Plasmaspektrometer (ICP-OES): Die Spektroskopie von Elementen wird durch Anregung der Probe durch Plasma analysiert, und der Gehalt an Wolfram und Verunreinigungen (wie Eisen, Nickel, Sauerstoff) kann mit einer Genauigkeit von ppm nachgewiesen werden. Die Ausrüstung muss mit einem System zur Versorgung mit hochreinem Gas und zur Probenvorbereitung ausgestattet sein.

Röntgenfluoreszenzanalysator (RFA): Anregung der Probe durch Röntgenstrahlen zur Analyse des Fluoreszenzspektrums, geeignet für schnelle zerstörungsfreie Prüfungen. RFA-Geräte sind äußerst tragbar und eignen sich für Echtzeitanalysen in der Produktion.

Analytoren für die chemische Zusammensetzung müssen regelmäßig kalibriert werden, um die Nachweisgenauigkeit zu gewährleisten. Der intelligente Analysator kann automatisch Analyseberichte erstellen, um die Erkennungseffizienz zu verbessern.

5.5.2 Geräte für die Mikrostrukturanalyse

Mikrostrukturanalysegeräte werden verwendet, um Korngröße, Defekte und Mikrostrukturgleichmäßigkeit von Elektroden zu erkennen, und zu den häufig verwendeten Geräten gehören:

Optische Mikroskopie: wird verwendet, um die Kornstruktur und mikroskopische Defekte des Elektrodenquerschnitts mit einer Vergrößerung von 50-1000x zu betrachten. Das Gerät muss mit einer Bildanalysesoftware ausgestattet sein, um die Korngröße und die Fehlerverteilung zu quantifizieren.

Rasterelektronenmikroskopie (REM): Scannen von Proben mit Elektronenstrahlen zur Analyse der

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

Oberflächentopographie und Mikrostruktur mit Nanometerauflösung. REM sind oft mit einem energiedispersiven Spektrometer (EDS) ausgestattet, um die lokale chemische Zusammensetzung zu analysieren.

Geräte zur Mikrostrukturanalyse erfordern eine regelmäßige Wartung der Elektronenstrahlquelle und des Vakuumsystems, um die Bildqualität zu gewährleisten. Die hochmoderne Ausstattung unterstützt die 3D-Rekonstruktion und die eingehende Analyse der inneren Struktur der Elektrode.

5.5.3 Prüfgeräte für die physikalische Leistung

Prüfgeräte für die physikalische Leistung werden verwendet, um die Dichte, Härte, Leitfähigkeit und Maßtoleranz von Elektroden zu testen. Zu den häufig verwendeten Geräten gehören:

Dichteprüfgerät: Die Elektrodendichte wird nach dem archimedischen Prinzip gemessen, um sicherzustellen, dass die theoretische Dichte ($19,3 \text{ g/cm}^3$) mehr als 95 % beträgt. Das Gerät muss mit einer hochpräzisen Waage und einem thermostatischen Wassertank ausgestattet sein.

Härteprüfer: Der Vickers- oder Brinell-Härteprüfer wird verwendet, um die Härte der Elektrode (HV 350-450) zu messen. Die Ausrüstung muss mit einem Diamant-Eindringkörper und einem hochpräzisen Ladesystem ausgestattet sein.

Leitfähigkeitstester: Bewertet die Leitfähigkeit von Elektroden durch Messung des spezifischen Widerstands von Elektroden nach der Vier-Sonden-Methode. Das Gerät muss mit einer Konstantstromquelle und einem Mikrovoltmeter ausgestattet sein, um die Messgenauigkeit zu gewährleisten.

Dimensionsmessgerät: Der Laser-Entfernungsmesser oder Bildmessgerät dient zur Erfassung des Elektrodendurchmessers ($\pm 0,05 \text{ mm}$) und der Längentoleranz. Das Gerät unterstützt die berührungslose Messung und ist für hohe Präzisionsanforderungen geeignet.

Physische Leistungstestgeräte müssen regelmäßig kalibriert werden, um die Zuverlässigkeit der Daten zu gewährleisten. Das automatisierte Testsystem kann eine synchrone Erkennung mit mehreren Parametern realisieren und die Effizienz verbessern.

5.6 Automatisierung und intelligente Ausrüstung für reine Wolframelektroden

Die Automatisierung und intelligente Ausrüstung ist ein wichtiger Trend bei der Modernisierung der Produktion von reinen Wolframelektroden, der die Produktionseffizienz und Qualitätsstabilität durch die Integration von Sensoren, Steuerungssystemen und Datenanalysetechnologien verbessert.

5.6.1 Einsatz automatisierter Produktionslinien

Die automatisierte Produktionslinie integriert Zerkleinern, Pressen, Sintern, Verarbeitung und Oberflächenbehandlung und realisiert eine kontinuierliche Produktion durch Roboter, Förderbänder und automatische Steuerungssysteme. Zu den wichtigsten Ausrüstungsgegenständen gehören:

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Automatisches Chargiersystem: Wird zum automatischen Befüllen und Pressen von Wolframpulver verwendet, ausgestattet mit einem Roboterarm und einer Wägezelle, um eine gleichmäßige und genaue Beschickung zu gewährleisten.

Kontinuierliche Sinterlinie: Der Grünkörper wird kontinuierlich über ein Förderband in den Sinterofen eingespeist und ist mit einer mehrstufigen Temperierung ausgestattet, um ein effizientes Sintern zu erreichen. Das System unterstützt die Online-Überwachung der Körpertemperatur und der Atmosphäre des Knüppels.

Automatische Verarbeitungslinie: integrierte Schmiede-, Walz- und Drahtziehanlage, kontinuierliche Verarbeitung durch SPS-Steuerung. Das System ist mit einem visuellen Erkennungsgerät ausgestattet, um Rohlingsgrößen und Oberflächenfehler zu erkennen.

Automatisierte Produktionslinien reduzieren Bedienungsfehler und Sicherheitsrisiken, indem sie manuelle Eingriffe reduzieren und gleichzeitig die Produktionseffizienz steigern. Einige fortschrittliche Produktionslinien unterstützen einen modularen Aufbau, der den Prozessablauf flexibel an die Produktionsanforderungen anpassen kann.

5.6.2 Intelligentes Überwachungssystem

Das intelligente Überwachungssystem überwacht die Parameter des Produktionsprozesses in Echtzeit durch Sensoren, das Internet der Dinge und Big-Data-Analysetechnologie, um die Effizienz der Qualitätskontrolle und der Wartung der Anlagen zu verbessern. Zu den Schlüsseltechnologien gehören:

Sensoren zur Online-Überwachung: einschließlich Temperatursensoren, Drucksensoren und Gasanalysatoren, Echtzeitüberwachung der Temperatur des Sinterofens, der Spannung der Drahtziehmaschine und der Zusammensetzung der Schutzatmosphäre. Die Daten werden über das Internet der Dinge an die zentrale Steuerung übertragen.

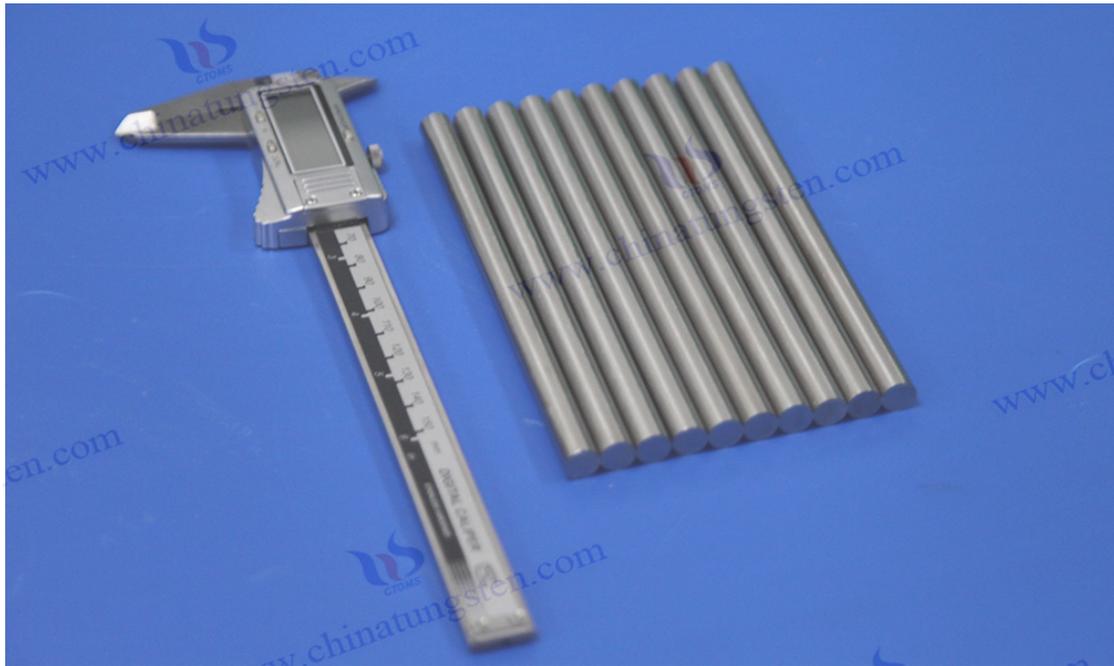
Fehlerdiagnosesystem: Analysiert Betriebsdaten von Geräten mithilfe von Algorithmen für maschinelles Lernen, prognostiziert potenzielle Ausfälle und gibt Wartungsempfehlungen. Das System reduziert die Ausfallzeiten der Anlagen und erhöht die Produktionskontinuität.

System zur Rückverfolgbarkeit der Qualität: Erfassen Sie die Produktionsparameter und Prüfdaten jeder Elektrodencharge und richten Sie eine Rückverfolgbarkeitsdatenbank ein. Das System unterstützt die Barcode- oder RFID-Technologie, die für das Qualitätsmanagement und Kundenanfragen praktisch ist.

Das intelligente Überwachungssystem bietet dem Bediener über eine Datenvisualisierungsplattform (z. B. ein SCADA-System) Echtzeit-Feedback und unterstützt so die Fernüberwachung und optimierte Entscheidungsfindung. In Zukunft, mit der Entwicklung der Industrie 4.0-Technologie, wird das intelligente Überwachungssystem künstliche Intelligenz und Cloud Computing weiter

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

integrieren, um das intelligente Management des gesamten Prozesses zu realisieren.



Reine Wolframelektroden von CTIA GROUP LTD

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

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

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

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

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

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

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 6 In- und ausländische Normen für reine Wolframelektroden

Als wichtiger Werkstoff für das Wolfram-Argon-Lichtbogenschweißen (WIG-Schweißen) wirken sich die Leistung und Qualität der reinen Wolframelektrode (WP-Elektrode) direkt auf die Schweißwirkung aus. Um die Produktkonsistenz und Marktverfügbarkeit zu gewährleisten, wurden weltweit eine Reihe von Normen entwickelt, die die chemische Zusammensetzung, Maßtoleranzen, Leistungsanforderungen und Testmethoden abdecken. Diese Standards werden von internationalen Organisationen, nationalen Institutionen und Industrieverbänden formuliert und bilden ein relativ vollständiges normatives System. In diesem Kapitel werden die internationalen Normen, die chinesischen nationalen Normen und andere nationale Normen für reine Wolframelektroden ausführlich erörtert, ihre Unterschiede analysiert und ein Ausblick auf den Entwicklungstrend der Normen gegeben.

6.1 Internationale Normen für reine Wolframelektroden

Internationale Normen bieten eine einheitliche Spezifikation für den weltweiten Handel und die Anwendung von reinen Wolframelektroden und werden hauptsächlich von der American Welding Society (AWS), der International Organization for Standardization (ISO) und dem European Committee for Standardization (CEN) entwickelt. Im Folgenden werden die Standards AWS A5.12, ISO 6848 und EN 26848 behandelt.

6.1.1 AWS A5.12 (Standard des American Welding Institute)

AWS A5.12 ist ein Wolframelektrodenstandard, der von der American Welding Society entwickelt wurde, der vollständige Name lautet "Specification for Tungsten and Oxide Dispersed Tungsten Electrodes for Arc Welding and Cutting" und die neueste Version ist AWS A5.12/A5.12M:2009. Diese Norm ist in der nordamerikanischen und globalen Schweißindustrie weit verbreitet und deckt die Klassifizierung, chemische Zusammensetzung, Größe und Leistungsanforderungen von reinen Wolframelektroden und anderen dotierten Elektroden ab.

Für reine Wolframelektroden (Code EWP, grün markiert) verlangt AWS A5.12 einen Wolframgehalt von $\geq 99,5$ % und Spuren von Verunreinigungen (z. B. Eisen, Nickel, Sauerstoff). Die Elektrodenoberfläche sollte glatt, frei von Rissen, Porosität oder Einschlüssen sein, und die Enden sollten zur leichteren Identifizierung grün markiert sein. Die Norm legt den Durchmesserbereich (0,5-6,4 mm) und die Länge (75-610 mm) der Elektroden fest, mit Toleranzen, die den Anforderungen der Präzisionsfertigung entsprechen. Darüber hinaus enthält AWS A5.12 klare Vorschriften für die Verpackung und Kennzeichnung von Elektroden, die eine Kennzeichnung der Chargennummer, der Spezifikation und der Herstellerinformationen erfordern, um die Rückverfolgbarkeit zu gewährleisten.

AWS A5.12 betont die Schweißleistung von Elektroden, und es wird empfohlen, dass reine Wolframelektroden hauptsächlich für das Wechselstromschweißen (AC) verwendet werden, die sich besonders für das Schweißen von Aluminium, Magnesium und deren Legierungen eignen. Die Norm legt keine Prüfverfahren für die Lichtbogenstabilität oder den Elektrodenverbrauch fest,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

sondern verlangt von den Herstellern, Leistungsdaten als Referenz für den Benutzer bereitzustellen. Diese Norm ist auf dem nordamerikanischen Markt maßgeblich, und viele internationale Hersteller produzieren auch reine Wolframelektroden gemäß ihren Anforderungen.

6.1.2 ISO 6848 (Internationale Organisation für Normung)

ISO 6848 ist die von der Internationalen Organisation für Normung formulierte Wolframelektrodennorm, der vollständige Name lautet "Lichtbogenschweißen und Schneiden – Nicht verbrauchbare Wolframelektroden – Klassifizierung", und die neueste Version ist ISO 6848:2015. Diese Norm ist auf die globale Schweißindustrie anwendbar und zielt darauf ab, die Klassifizierungs-, Kennzeichnungs- und Leistungsanforderungen von Wolframelektroden zu vereinheitlichen und den internationalen Handel und den technischen Austausch zu fördern.

Die ISO 6848 stuft reine Wolframelektroden als WP (grüne Kennzeichnung) ein und fordert einen Wolframgehalt von $\geq 99,5\%$ und eine strenge Kontrolle auf Verunreinigungen. Die Norm legt die chemische Zusammensetzung, die Maßtoleranz und die Oberflächenbeschaffenheit der Elektrode detailliert fest, verlangt, dass es keine offensichtlichen Fehler auf der Elektrodenoberfläche gibt, und die Beschichtungsmarkierung muss verschleißfest sein und die Schweißleistung nicht beeinträchtigen. Die Elektrodendurchmesser reichen von 0,5 bis 10 mm und die Längen betragen typischerweise 50 bis 175 mm, und die spezifischen Abmessungen können je nach Benutzerbedarf angepasst werden. Die ISO 6848 schreibt außerdem vor, dass die Elektroden vor dem Verpacken gereinigt und getrocknet werden müssen, um eine Kontamination oder Oxidation zu verhindern.

Ähnlich wie AWS A5.12 empfiehlt ISO 6848 reine Wolframelektroden für das Wechselstromschweißen aufgrund ihrer hervorragenden "kathodischen Reinigungswirkung" beim Schweißen von Aluminium- und Magnesiumlegierungen. Die Norm enthält eine kurze Beschreibung des Leistungsprüfverfahrens der Elektrode, wie z. B. die Lichtbogeninitiierungsleistung und die Lichtbogenstabilität, die unter Standardschweißbedingungen bewertet werden sollen, legt jedoch keine spezifischen Prüfparameter fest. Aufgrund ihres internationalen Charakters ist die ISO 6848 in Europa, Asien und Afrika weit verbreitet und eine wichtige Referenznorm für den weltweiten Handel mit Wolframelektroden.

6.1.3 EN 26848 (Europäische Norm)

EN 26848 ist eine Wolframelektrodennorm, die vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) entwickelt wurde und in hohem Maße mit ISO 6848 übereinstimmt, und der vollständige Name lautet "Schweißzusätze – Wolframelektroden für das Schutzgas-Schutzlichtbogenschweißen und für das Plasmaschweißen". Die Norm wird hauptsächlich in den EU-Mitgliedstaaten verwendet, und die neueste Version wird synchron mit der ISO 6848:2015 aktualisiert.

Die EN 26848 verlangt für reine Wolframelektroden (WP, grüne Markierung) die gleiche chemische Zusammensetzung wie die ISO 6848 mit einem Wolframgehalt von $\geq 99,5\%$ und Verunreinigungen, die in Spuren kontrolliert werden müssen. Die Norm stellt Anforderungen an die Größe, Oberflächenqualität und Kennzeichnung der Elektroden gemäß ISO 6848, wobei die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Gleichmäßigkeit und Sauberkeit der Elektroden im Vordergrund steht. Die EN 26848 empfiehlt auch die Lagerung und den Transport von Elektroden und verlangt die Verwendung einer feuchtigkeitsbeständigen, stoßfesten Verpackung, um die Leistung der Elektroden zu schützen.

In Bezug auf die Anwendungen empfiehlt die EN 26848 reine Wolframelektroden für das AC-WIG-Schweißen und das Plasmaschweißen, insbesondere in der Automobil-, Luft- und Raumfahrt- und Schiffbauindustrie in Europa. Die Norm legt die Methoden zur Leistungsprüfung nicht im Detail fest, sondern verlangt von den Herstellern, technische Datenblätter zur Verfügung zu stellen, die die Anwendungsszenarien und Betriebsempfehlungen für die Sensoren beschreiben. Die Umsetzung der EN 26848 hat die Normung der europäischen Schweißindustrie und die Anwendung von reinen Wolframelektroden im Bereich der hochpräzisen Fertigung gefördert.

6.2 Chinesischer nationaler Standard für reine Wolframelektroden

Als weltweit größter Hersteller von Wolframressourcen und Wolframelektroden hat China eine Reihe nationaler Standards und Industriestandards formuliert, um die Produktion und Anwendung von reinen Wolframelektroden zu regulieren. Unter ihnen ist GB/T 4190 die Hauptnorm, und die einschlägigen Industrienormen ergänzen die spezifischen Anforderungen.

6.2.1 GB/T 4190 (Wolframelektroden-Standard)

GB/T 4190 ist ein chinesisches nationales Standard, der vollständige Name lautet "Wolfram- und Wolframlegierungselektroden für das WIG-Schweißen von nicht schmelzenden Elektroden", und die neueste Version ist GB/T 4190-2017. Diese Norm gilt für Wolframelektroden für das WIG-Schweißen und Plasmaschweißen und behandelt die Klassifizierung, chemische Zusammensetzung, Größe und Leistungsanforderungen von reinen Wolframelektroden und anderen dotierten Elektroden.

Für reine Wolframelektroden (Code WP) verlangt GB/T 4190 einen Wolframgehalt von $\geq 99,5\%$, und der Gehalt an Verunreinigungen (wie Eisen, Silizium, Kohlenstoff) sollte in Spuren Mengen kontrolliert werden, um die Reinheit und Schweißleistung der Elektrode sicherzustellen. Die Oberfläche der Elektrode sollte glatt sein, frei von Rissen, Oxidschichten oder Ölflecken, und die Enden sollten mit einer grünen Markierung markiert sein, wie es in der internationalen Praxis üblich ist. Die Norm legt den Durchmesser (0,5-6,0 mm) und die Länge (50-300 mm) der Elektrode fest, um die für die Präzisionsbearbeitung erforderlichen Toleranzen einzuhalten. Die Verpackung erfordert, dass die Elektroden in Kunststoff- oder Metallboxen mit Spezifikationen, Chargennummern und Produktionsdaten verpackt werden.

GB/T 4190 empfiehlt reine Wolframelektroden für das AC-Schweißen, insbesondere beim Schweißen von Aluminium, Magnesium und deren Legierungen. Die Norm enthält kurze Bestimmungen für Leistungsprüfungen, wie z. B. die Bewertung der Lichtbogenstabilität durch simulierte Schweißversuche und die Messung des Elektrodenverbrauchs bei Standardströmen. GB/T 4190 verlangt von den Herstellern zudem, dass sie ein Qualitätszertifikat vorlegen, in dem die chemische Zusammensetzung und die Leistungsdaten der Elektrode angegeben sind. Diese

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Norm ist auf dem chinesischen Markt verpflichtend und bildet die Hauptgrundlage für die Produktion und Anwendung von Wolframelektroden in China.

6.2.2 Relevante Industrienormen

Neben GB/T 4190 hat China auch eine Reihe von Industriestandards entwickelt, die die Spezifikationen für reine Wolframelektroden in bestimmten Bereichen ergänzen. Zum Beispiel: YS/T 626-2018 "Wolframelektrode": Formuliert von der Nichteisenmetallindustrie, legt detailliert die chemische Zusammensetzung, Maßtoleranz und Oberflächenqualität der Wolframelektrode fest und ist für die Luft- und Raumfahrt- und Elektronikindustrie geeignet. Diese Norm stellt strengere Anforderungen an den Verunreinigungsgehalt von reinen Wolframelektroden, die für hochpräzise Schweißanwendungen geeignet sind.

JB/T 12839-2016 "Technische Bedingungen für Wolframelektroden zum Schweißen": formuliert vom Ministerium für Maschinenbau, mit Schwerpunkt auf der Schweißleistung und den Prüfverfahren von Wolframelektroden. Diese Norm verlangt, dass reine Wolframelektroden eine gute Lichtbogeneinleitungsleistung und Lichtbogenstabilität beim Wechselstromschweißen aufweisen, das für den Schiffbau und das Schweißen von Druckbehältern geeignet ist.

QJ 2088-2005 "Wolframelektroden für die Luft- und Raumfahrt": formuliert vom Ministerium für Luft- und Raumfahrtindustrie, speziell formuliert für hochzuverlässiges Schweißen in der Luft- und Raumfahrt. Die Norm verlangt eine extrem hohe Reinheit, Kornstruktur und Maßgenauigkeit von reinen Wolframelektroden, um ihre Leistung in extremen Umgebungen zu gewährleisten.

Diese Industriestandards ergänzen GB/T 4190 und decken eine Vielzahl von Szenarien ab, von der allgemeinen Fertigung bis hin zu High-End-Anwendungen, und fördern die Standardisierungsentwicklung der chinesischen Wolframelektrodenindustrie.

6.3 Weitere nationale Normen für reine Wolframelektroden

Zusätzlich zu internationalen Standards und chinesischen Standards wurden Wolframelektrodenstandards auch in anderen Ländern entwickelt, um den Anforderungen des lokalen Marktes gerecht zu werden. Im Folgenden wird der Schwerpunkt auf die japanische Norm JIS Z 3233 und die deutsche Norm DIN EN ISO 6848 gelegt.

6.3.1 JIS Z 3233 (Japanischer Industriestandard)

JIS Z 3233 ist ein japanischer Industriestandard, der vollständige Name lautet "Wolframelektroden für das Schutzgasschweißen", und die neueste Version ist JIS Z 3233:2017. Diese Norm gilt für Wolframelektroden für das WIG-Schweißen, die in der Automobil-, Elektronik- und Präzisionsmaschinenindustrie in Japan weit verbreitet sind.

JIS Z 3233 stuft reine Wolframelektroden als WP ein und erfordert einen Wolframgehalt von $\geq 99,5\%$ und eine strenge Kontrolle von Verunreinigungen. Die Oberfläche der Elektrode sollte sauber und frei von Defekten sein, und die Enden sollten grün markiert sein. Die Norm legt den Durchmesser

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

(0,5-6,0 mm) und die Länge (50-200 mm) der Elektroden mit Toleranzen fest, die der ISO 6848 entsprechen. JIS Z 3233 empfiehlt reine Wolframelektroden für das AC-Schweißen, insbesondere in Aluminium- und Magnesiumlegierungen.

Im Vergleich zu internationalen Normen stellt JIS Z 3233 höhere Anforderungen an die Oberflächenqualität von Elektroden und muss frei von sichtbaren Defekten sein, um den hohen Präzisionsanforderungen der japanischen Fertigungsindustrie gerecht zu werden. Die Norm stellt auch spezifische Anforderungen an die Verpackung und Lagerung von Elektroden, wie z. B. die Verwendung feuchtigkeitsbeständiger Verpackungen und die Lagerung in einer trockenen Umgebung. JIS Z 3233 hat einen wichtigen Einfluss auf den japanischen Markt, und viele japanische Hersteller von Schweißgeräten entwerfen ihre Produkte gemäß ihren Anforderungen.

6.3.2 DIN EN ISO 6848 (deutsche Norm)

Die DIN EN ISO 6848 ist eine lokalisierte Version der in Deutschland angenommenen internationalen Norm ISO 6848, die vom Deutschen Institut für Normung (DIN) gemäß ISO 6848:2015 veröffentlicht wurde. Der Standard ist in Deutschland und Mitteleuropa weit verbreitet, insbesondere in den Bereichen Automotive, Luft- und Raumfahrt sowie Schwerindustrie.

Die DIN EN ISO 6848 stellt die gleichen Anforderungen an die chemische Zusammensetzung, Größe und Leistungsfähigkeit von reinen Wolframelektroden (WP, grün markiert) wie die ISO 6848 und betont die hohe Reinheit und Oberflächengüte der Elektroden. Reine Wolframelektroden werden standardmäßig für das AC-WIG-Schweißen empfohlen und eignen sich zum Schweißen von Aluminium, Magnesium und deren Legierungen. Die DIN EN ISO 6848 verlangt von den Herstellern zudem eine detaillierte technische Dokumentation, einschließlich der Analyse der chemischen Zusammensetzung der Elektroden und Daten zu den Schweißereigenschaften.

Als Fertigungsstandort in Europa stellt Deutschland extrem hohe Anforderungen an die Qualität von Schweißzusätzen. Die Implementierung der DIN EN ISO 6848 hat zu einer Standardisierung von Wolframelektroden auf dem deutschen Markt geführt, insbesondere in der High-End-Fertigung (z.B. Mercedes-Benz und BMW).

6.4 Normvergleich und Unterschiede der reinen Wolframelektrode

Obwohl in- und ausländische Normen ein hohes Maß an Konsistenz bei der Klassifizierung und Anwendung von reinen Wolframelektroden aufweisen, gibt es geringfügige Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung, den Maßtoleranzen und den Leistungsprüfmethoden. Im Folgenden finden Sie eine vergleichende Analyse unter drei Aspekten.

6.4.1 Anforderungen an die chemische Zusammensetzung

Die Anforderungen an die chemische Zusammensetzung von reinen Wolframelektroden sind in jeder Norm grundsätzlich gleich, und der Wolframgehalt muss $\geq 99,5$ % betragen, aber der Kontrollbereich der Verunreinigungen ist etwas anders. Zum Beispiel:

AWS A5.12: Es gibt keine klare Obergrenze für die Gesamtmenge an Verunreinigungen wie Eisen,

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

Nickel, Silizium usw., aber Verunreinigungen sind erforderlich, um die Schweißleistung nicht zu beeinträchtigen. Die Norm legt mehr Wert auf die praktische Anwendungswirkung der Elektrode.

ISO 6848 und EN 26848: Gibt an, dass Verunreinigungen (z. B. Eisen, Kohlenstoff, Sauerstoff) weniger als 0,05 % für jedes Element und 0,5 % für die Gesamtmenge betragen müssen, um eine hohe Reinheit und Lichtbogenstabilität der Elektrode zu gewährleisten.

GB / T 4190: Die Kontrolle von Verunreinigungen ist strenger, und der Einzelgehalt von Eisen, Silikon, Kohlenstoff und anderen Gegenständen sollte weniger als 0,03 % betragen, und der Sauerstoffgehalt sollte weniger als 0,02 % betragen, was für hochpräzise Schweißanwendungen geeignet ist.

JIS Z 3233: Die Anforderungen an Verunreinigungen ähneln denen der ISO 6848, haben jedoch strengere Anforderungen an den Sauerstoffgehalt ($\leq 0,015$ %), um den Anforderungen der japanischen Elektronikindustrie gerecht zu werden.

Diese Unterschiede spiegeln den Fokus des Landes auf Schweißszenarien und die Bedürfnisse der Industrie wider. ISO 6848 und GB/T 4190 legen mehr Wert auf die Reinheitskontrolle und eignen sich für die High-End-Fertigung; AWS A5.12 ist flexibler und anpassbar an eine Vielzahl von Anwendungen.

6.4.2 Abmessungen und Toleranzen

Der Größenbereich und die Toleranzanforderungen der Elektrode sind in den Normen relativ einheitlich, aber die spezifischen Details sind unterschiedlich:

Durchmesserbereich: AWS A5.12 und ISO 6848 unterstützen 0,5-10 mm, GB/T 4190 und JIS Z 3233 sind auf 0,5-6,0 mm begrenzt und spiegeln die Mainstream-Anforderungen verschiedener Märkte wider.

Toleranzen: AWS A5.12 ermöglicht Durchmessertoleranzen von $\pm 0,05$ mm (kleiner Durchmesser) bis $\pm 0,13$ mm (großer Durchmesser); ISO 6848 und GB/T 4190 haben strengere Anforderungen und sind auf $\pm 0,05$ mm vereinheitlicht; JIS Z 3233 hat eine Toleranz von $\pm 0,03$ mm für Elektroden mit kleinem Durchmesser ($< 2,0$ mm), was Japans Schwerpunkt auf Präzisionsfertigung widerspiegelt.

Länge: AWS A5.12 unterstützt große Schweißgeräte mit einer Länge von bis zu 610 mm für den nordamerikanischen Markt; ISO 6848 und GB/T 4190 sind hauptsächlich 50-300 mm, die für allgemeine Geräte geeignet sind; JIS Z 3233 ist hauptsächlich 50-200 mm breit, was für kleine Präzisionsschweißarbeiten geeignet ist.

Diese Unterschiede hängen mit den Schweißgeräten und Prozessgewohnheiten der verschiedenen Länder zusammen. Zum Beispiel werden beim Präzisionsschweißen in Japan tendenziell kurze Elektroden mit kleinem Durchmesser bevorzugt, während lange Elektroden mit großem

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Durchmesser in Nordamerika häufiger beim großflächigen industriellen Schweißen verwendet werden.

6.4.3 Methoden der Leistungsprüfung

Ein weiterer Unterschied zwischen der Leistungstestmethode ist die Norm, und jede Norm hat unterschiedliche Spezifikationsgrade für die Prüfung:

AWS A5.12: Testmethoden für die Leistung der Lichtbogeninitiierung, die Lichtbogenstabilität oder die Elektrodenverbrauchsrate sind nicht spezifiziert, es werden nur Leistungsdaten vom Hersteller benötigt. Die Prüfung stützt sich stark auf Branchenpraktiken, wie z. B. simuliertes Schweißen bei Standardströmen.

ISO 6848 und EN 26848: Es wird empfohlen, die Lichtbogenzündungsleistung und die Lichtbogenstabilität unter Standardschweißbedingungen zu prüfen, es werden jedoch keine detaillierten Prüfparameter angegeben. Beim Wechselstromschweißen wird der Test der Elektrodenverbrauchsrate durchgeführt, und der Längenverlust pro Zeiteinheit wird aufgezeichnet.

GB/T 4190: Spezifiziert detailliertere Prüfverfahren, wie z. B. die Lichtbogenzündungsleistung, die bei einem Strom von 50 bis 150 A zu prüfen ist, die Lichtbogenstabilität, die durch Lichtbogen Spannungsschwankungen bewertet werden soll, und den Elektrodenverbrauch, der beim 200-A-Wechselstromschweißen gemessen werden soll.

JIS Z 3233: Das Prüfverfahren ähnelt ISO 6848, erfordert jedoch, dass die Lichtbogenzündungsleistung bei niedrigen Strömen (<50 A) getestet wird, um den Anforderungen der Elektronikindustrie gerecht zu werden.

Diese Unterschiede spiegeln den Fokus der einzelnen Länder auf die Schweißleistung wider. GB/T 4190 und JIS Z 3233 haben strengere Testanforderungen und eignen sich für hochpräzise Anwendungen; AWS A5.12 ist pragmatischer und flexibler im Testen.

6.5 Der Entwicklungstrend des reinen Wolframelektrodenstandards

Mit der Transformation und Modernisierung der globalen Fertigungsindustrie und der Steigerung des Umweltbewusstseins entwickeln sich die Standards für reine Wolframelektroden in Richtung höherer Leistung, sicherer und umweltfreundlicher. Im Folgenden wird ein Ausblick auf zukünftige Trends unter zwei Aspekten gegeben: Umwelt- und Sicherheitsanforderungen sowie Hochleistungselektrodennormen.

6.5.1 Umwelt- und Sicherheitsanforderungen

Umweltschutz und Sicherheit sind die zentralen Triebkräfte für die Entwicklung von Wolframelektrodennormen. Herkömmliche Thorium-Wolfram-Elektroden werden aufgrund ihres radioaktiven Thoriumoxids (ThO_2) nach und nach begrenzt, und reine Wolframelektroden sind umweltfreundliche Alternativen, da sie nicht radioaktiv sind. In Zukunft wird die Norm folgende

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Anforderungen weiter verschärfen:

Harmlose Materialien: Die Norm wird den Gehalt an potenziell schädlichen Verunreinigungen (z. B. Blei, Cadmium) in Elektroden streng begrenzen und ungiftige Beschichtungen (z. B. grüne Markierungsfarbe auf Wasserbasis) fördern, um die Umweltverschmutzung zu reduzieren.

Umweltschutz des Produktionsprozesses: Die Norm kann Umweltauflagen in den Produktionsprozess einführen, wie z. B. die Reduzierung des Energieverbrauchs, die Reduzierung von Abwasser- und Abgasemissionen und die Förderung des Abfallrecyclings. Zukünftige Überarbeitungen von ISO 6848 und GB/T 4190 können sich auf ISO 14001 (Umweltmanagementsystem) beziehen.

Sicherheitskennzeichnung: Die Norm wird die Verpackungs- und Kennzeichnungsspezifikationen von Elektroden verbessern und eine klare Kennzeichnung von nicht radioaktiven und sicheren Verwendungsrichtlinien für eine einfache Identifizierung und Bedienung durch den Benutzer verlangen. AWS A5.12 verlangt nun detaillierte Sicherheitsdatenblätter (SDB).

Die Verbesserung der Umweltschutz- und Sicherheitsanforderungen wird den Einsatz von reinen Wolframelektroden in der umweltfreundlichen Produktion fördern, insbesondere in Regionen mit strengen Umweltvorschriften wie der Europäischen Union und China.

6.5.2 Standards für Hochleistungselektroden

Mit der rasanten Entwicklung der Luft- und Raumfahrt, der neuen Energien und der Halbleiterindustrie steigen die Leistungsanforderungen an Wolframelektroden ständig. Zukünftige Standards werden sich auf die folgenden Richtungen konzentrieren:

Anforderungen an die hohe Reinheit: Der Standard kann die Anforderung an den Wolframgehalt auf 99,99 % erhöhen und den Verunreinigungsgehalt weiter reduzieren, um die Anforderungen an die ultrahohe Reinheit der Halbleiter- und Nuklearindustrie zu erfüllen.

Standardisierung der Leistungsprüfung: Die Norm wird detailliertere Prüfmethoden entwickeln, wie z. B. die Prüfung der Lichtbogeninitiierungsleistung im Mehrstrombereich (10-300 A), die Quantifizierung der Lichtbogenstabilität durch einen Hochfrequenz-Lichtbogenanalysator und die Bewertung des Elektrodenverbrauchs unter mehreren Schweißbedingungen.

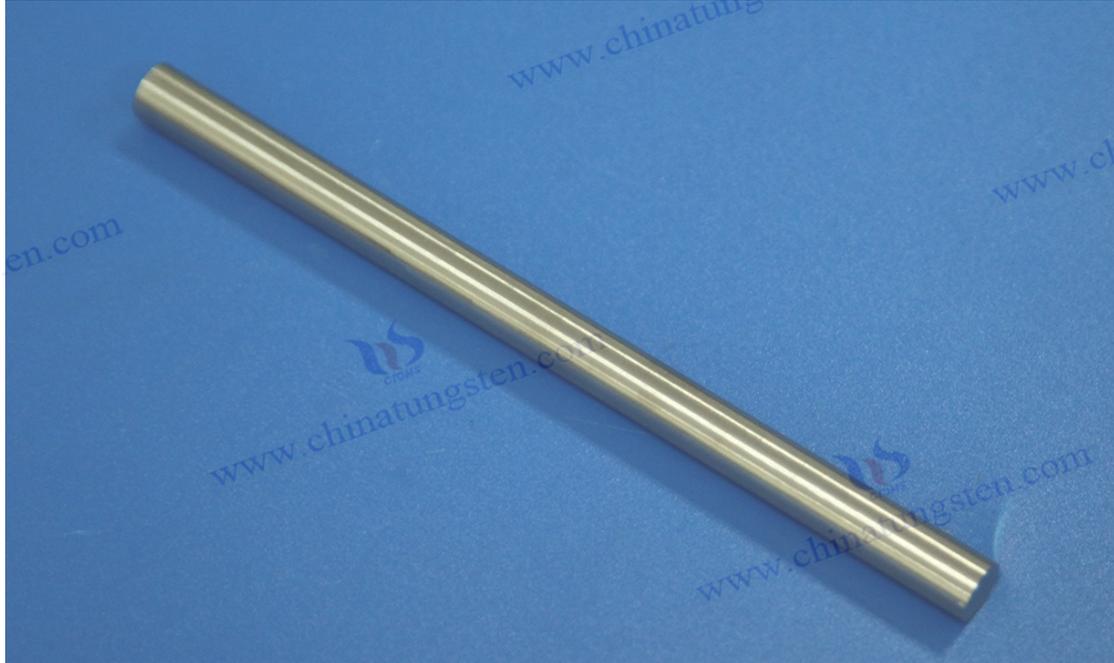
Neue Materialkompatibilität: Die Norm kann auf neue Elektroden auf Wolframbasis (z. B. nanokristalline Wolframelektroden) ausgeweitet werden, um deren chemische Zusammensetzung, Kornstruktur und Leistungsanforderungen zu spezifizieren, um den Anforderungen des Hochleistungsschweißens gerecht zu werden.

Intelligente Anwendung: Die Norm kann Anforderungen einführen, die mit intelligenten Schweißgeräten kompatibel sind, wie z. B. die Größe und Oberflächenqualität der Elektrode müssen an den automatisierten Schweißroboter angepasst werden, um die Produktionseffizienz zu

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

verbessern.

Die Entwicklung von Hochleistungselektrodenstandards wird den Einsatz von reinen Wolframelektroden in High-End-Fertigungsbereichen fördern und gleichzeitig die Innovation von Produktionsprozessen, wie z. B. der Herstellung von ultrafeinem Wolframpulver und der Schnellsintertechnologie, fördern.



Reine Wolframelektrode von CTIA GROUP LTD

Kapitel 7 Detektionsmethoden und -technologien der reinen Wolframelektrode

Die Qualitätsprüfung von reinen Wolframelektroden (WP-Elektroden) ist ein wichtiger Bestandteil der Gewährleistung ihrer Leistung und Zuverlässigkeit und umfasst die Bewertung der chemischen Zusammensetzung, der physikalischen Eigenschaften, der Mikrostruktur, der Schweiß Eigenschaften sowie der Umwelt- und Sicherheitsleistung. Nachweismethoden müssen hochpräzise Instrumente und standardisierte Verfahren enthalten, um die Anforderungen internationaler Standards (z. B. AWS A5.12, ISO 6848) und chinesischer nationaler Standards (z. B. GB/T 4190) zu erfüllen. In diesem Kapitel werden die Nachweismethoden und -techniken von reinen Wolframelektroden ausführlich erörtert, einschließlich der Prüfung der chemischen Zusammensetzung, der Prüfung physikalischer Eigenschaften, der Mikrostrukturanalyse, der Schweißleistungsprüfung, der Umwelt- und Sicherheitsprüfung sowie der Kalibrierung und Normung von Prüfgeräten.

7.1 Nachweis der chemischen Zusammensetzung der reinen Wolframelektrode

Die Prüfung der chemischen Zusammensetzung ist das wichtigste Mittel zur Bewertung des Reinheits- und Verunreinigungsgehalts von reinen Wolframelektroden und stellt sicher, dass der Wolframgehalt $\geq 99,5\%$ beträgt und Verunreinigungen (z. B. Eisen, Nickel, Sauerstoff) in einem kontrollierbaren Bereich liegen. Zu den gängigen Methoden gehören Spektroskopie,

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Röntgenfluoreszenzanalyse und chemische Titration.

7.1.1 Spektroskopische Analyse (ICP-OES)

Die optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) ist eine hochpräzise Methode zum Nachweis der chemischen Zusammensetzung von reinen Wolframelektroden, die in Laboratorien und Produktionsstätten weit verbreitet ist. ICP-OES regt Probenatome mit einem Hochtemperaturplasma (ca. 8000-10.000 °C) an, um ein Emissionsspektrum einer bestimmten Wellenlänge zu erzeugen, um den Gehalt an Wolfram- und Fremdelementen zu analysieren.

Der Untersuchungsprozess umfasst die Probenvorbereitung, -auflösung, -analyse und -verarbeitung. Zuerst wird die Elektrodenprobe in kleine Stücke geschnitten und in einer Lösung mit einer Säure, wie z.B. einem Gemisch aus Salpetersäure und Flußsäure, aufgelöst. Nachdem die Lösung in das ICP-OES-Instrument injiziert wurde, wird sie zerstäubt und durch das Plasma angeregt, und das Emissionsspektrum wird durch das Spektrometer geteilt und vom Detektor aufgezeichnet. Das Gerät berechnet Elementkonzentrationen aus Standardkurven (basierend auf Standardlösungen bekannter Konzentrationen) mit Nachweisgrenzen bis zu ppb (parts per billion) und eignet sich für den Nachweis von Spurenverunreinigungen (z. B. Eisen, Nickel, Silizium, Kohlenstoff).

Die Vorteile von ICP-OES sind die hohe Empfindlichkeit, die gleichzeitige Analyse mehrerer Elemente und der große Dynamikbereich, der für die strengen Anforderungen von hochreinen Wolframelektroden geeignet ist. Die Nachteile sind, dass die Probe destruktiv aufgelöst werden muss und das Instrument teuer ist. Moderne ICP-OES-Geräte sind mit automatisierten Probenahmesystemen und Datenverarbeitungssoftware ausgestattet, um die Nachweiseffizienz und -genauigkeit zu verbessern.

7.1.2 Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Die Röntgenfluoreszenz (RFA) ist eine zerstörungsfreie Prüfmethode, mit der die chemische Zusammensetzung von reinen Wolframelektroden schnell analysiert werden kann. RFA bestrahlt die Probe mit Röntgenstrahlen, um die Elektronenübergänge in den inneren Schichten der Atome anzuregen, was zu einer charakteristischen Fluoreszenz führt, und analysiert den Gehalt an Wolfram und Verunreinigungselementen.

Für die Tests wird die Elektrodenprobe direkt auf den RFA-Gerätetisch gelegt, wodurch eine aufwendige Vorbereitung entfällt. Das Instrument emittiert hochenergetische Röntgenstrahlen (z. B. Rh- oder W-Targets), und die von den Probenatomen emittierte Fluoreszenz wird vom Detektor gesammelt und in ein Spektrum umgewandelt. Die RFA kann eine breite Palette von Elementen nachweisen, von Aluminium (Al) bis Uran (U), mit Nachweisgrenzen im ppm-Bereich (parts per million), wodurch sie sich für eine schnelle Qualitätskontrolle am Produktionsstandort eignet.

Die Vorteile der RFA sind zerstörungsfrei, schnell (innerhalb von Minuten) und einfach zu bedienen, wodurch sie für die Chargenprüfung geeignet ist. Der Nachteil ist, dass die Empfindlichkeit geringer

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

ist als die von ICP-OES und die Nachweisbarkeit von leichten Elementen (z.B. Sauerstoff, Kohlenstoff) begrenzt ist. Darüber hinaus kann eine Oberflächenkontamination die Ergebnisse beeinträchtigen, daher ist es wichtig, sicherzustellen, dass die Probenoberfläche sauber ist. Tragbare RFA-Geräte wurden in den letzten Jahren häufig in Feldtests eingesetzt, um die Flexibilität zu erhöhen.

7.1.3 Chemische Titration

Die chemische Titration ist eine traditionelle Analysemethode, mit der die Hauptmenge an Wolfram in einer Wolframelektrode bestimmt wird und die sich für die Laborvalidierung oder Detektion eignet, wenn keine hochpräzisen Instrumente vorhanden sind. Bei der Titration wird die Wolframmenge durch chemische Reaktionen quantifiziert, in der Regel unter Verwendung der Wolframat-Fällung-Titration.

Der Testprozess umfasst die Probenauflösung, die Wolframsäurefällung und die Titrationsanalyse. Zuerst wird die Elektrodenprobe in einer sauren Lösung (wie einem Gemisch aus Salzsäure und Salpetersäure) gelöst und Natriumhydroxid zugegeben, um eine Natriumwolframatlösung zu erzeugen. Anschließend wird Wolframsäure durch Zugabe von Säure gefällt, filtriert und mit einer alkalischen Standardlösung (z. B. NaOH) gewaschen und der Wolframgehalt berechnet. Der Titrationsendpunkt wird in der Regel durch einen Indikator (z. B. Phenolphthalein) oder einen potentiometrischen Titrator bestimmt.

Die Vorteile der chemischen Titration bestehen darin, dass die Ausrüstung einfach ist, die Kosten niedrig sind und für kleine und mittlere Unternehmen geeignet sind. Der Nachteil ist, dass der Vorgang umständlich und zeitaufwändig ist und nur das Hauptelement (Wolfram) nachweisen und keine Spuren von Verunreinigungen analysieren kann. Darüber hinaus kann die manuelle Handhabung zu Fehlern führen, und die Versuchsbedingungen müssen streng kontrolliert werden. Moderne Laboratorien stützen sich meist auf ICP-OES oder RFA, und die chemische Titration wird als ergänzende Nachweismethode verwendet.

7.2 Physikalische Eigenschaften der reinen Wolframelektrode

Bei der Prüfung der physikalischen Eigenschaften werden die Dichte, Härte und Leitfähigkeit von reinen Wolframelektroden bewertet, um sicherzustellen, dass ihre mechanischen und elektrischen Eigenschaften den Schweißanforderungen entsprechen. Zu den gängigen Methoden gehören Dichtemessung, Härteprüfung und Leitfähigkeitsprüfung.

7.2.1 Messung der Dichte

Die Dichte ist ein wichtiger Indikator zur Messung der endgültigen Dichte von reinen Wolframelektroden, die theoretische Dichte beträgt $19,3 \text{ g/cm}^3$, und die Dichte qualifizierter Elektroden muss normalerweise 95 % bis 98 % der theoretischen Dichte erreichen. Die Dichtemessung basiert auf dem archimedischen Prinzip, das die Dichte berechnet, indem die Differenz in der Masse einer Probe in Luft und Flüssigkeit, in der Regel Wasser oder Ethanol, gemessen wird.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Zur Prüfausrüstung gehören eine hochpräzise elektronische Waage (Genauigkeit $\pm 0,0001$ g) und ein thermostatischer Flüssigkeitstank. Die Probe wird zunächst an der Luft gewogen und die Masse m_1 aufgezeichnet; Anschließend wird sie durch Eintauchen in eine Flüssigkeit gewogen und die Masse m_2 aufgezeichnet. Die Dichte wird wie folgt berechnet: $\rho = m_1 / (m_1 - m_2) \times \rho_0$, wobei ρ_0 die Dichte der Flüssigkeit ist. Der Test muss sicherstellen, dass die Oberfläche der Probe sauber und frei von Luftblasen ist.

Der Vorteil der Dichtemessung besteht darin, dass sie einfach, genau und sowohl für Produktionsstätten als auch für Labore geeignet ist. Der Nachteil ist, dass die Probenform hoch sein muss und unregelmäßige Proben zusätzlich verarbeitet werden müssen. Moderne Dichtepfegeräte sind mit automatisierten Messsystemen ausgestattet, die schnelle Multi-Batch-Inspektionen ermöglichen und Daten für die Rückverfolgbarkeit aufzeichnen.

7.2.2 Härteprüfung

Die Härte spiegelt die Verschleißfestigkeit und mechanische Festigkeit von reinen Wolframelektroden wider und wird üblicherweise mit Vickers (HV) oder Brinell (HB) getestet. Die Härte von reinen Wolframelektroden liegt typischerweise bei HV 350-450, abhängig vom Herstellungsprozess und der Kornstruktur.

Bei der Vickers-Härteprüfung wird ein Diamantpyramideneindringkörper verwendet, um eine Last (normalerweise 5-10 kg) auf die Oberfläche der Probe aufzubringen, die diagonale Länge des Eindrucks zu messen und den Härtewert zu berechnen. Die Ausrüstung umfasst ein Vickers-Härteprüfgerät und ein Mikroskop, um sicherzustellen, dass die Oberfläche der Probe flach und poliert ist. Bei der Brinell-Härteprüfung wird ein Hartmetall-Kugeleindringkörper verwendet, der für größere Proben geeignet ist, aber etwas weniger genau ist als die Vickers-Härteprüfung.

Die Vorteile der Härteprüfung sind intuitiv, zuverlässig und spiegeln die Verarbeitungsqualität und Haltbarkeit der Elektrode wider. Der Nachteil besteht darin, dass die Testpunkte stark lokalisiert sind und über mehrere Messungen gemittelt werden müssen, um die Gesamtleistung darzustellen. Das automatisierte Härteprüfgerät misst automatisch die Eindringgröße durch eine Bildanalyse-Software, die die Erkennungseffizienz verbessert.

7.2.3 Prüfung der Leitfähigkeit

Der Leitfähigkeitstest bewertet die elektrischen Eigenschaften von reinen Wolframelektroden und spiegelt ihre Fähigkeit wider, während des Schweißens Strom zu übertragen. Die Leitfähigkeit von reinen Wolframelektroden liegt bei ca. 30% IACS (International Annealed Copper Standard). Die Vier-Sonden-Methode wird häufig verwendet, um den spezifischen Widerstand der Elektrode zu messen und dann die Leitfähigkeit zu berechnen.

Bei der Vier-Sonden-Methode werden vier Sonden verwendet, um Kontakt mit der Oberfläche der Probe herzustellen, wobei ein konstanter Strom an die beiden äußeren Sonden und zwei innere Sonden angelegt wird, um die Spannung zu messen. Der spezifische Widerstand wird wie folgt berechnet: $\rho = (V/I) \times S/L$, wobei V die Spannung, I der Strom, S die Querschnittsfläche der Probe

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

und L der Sondenabstand ist. Die Leitfähigkeit ist der Kehrwert des spezifischen Widerstands, der in den IACS-Prozentsatz umgerechnet wird.

Die Prüfausrüstung umfasst einen Tester mit vier Sonden, eine Konstantstromquelle und ein Mikrovoltmeter, um sicherzustellen, dass die Sonden in gutem Kontakt stehen und die Probenoberfläche sauber ist. Die Vorteile des Vier-Sonden-Verfahrens sind die hohe Genauigkeit, der große Messbereich und die Eignung für hochleitfähige Materialien. Der Nachteil ist, dass die Probenform und die Oberflächenqualität hoch sein müssen. Moderne Leitfähigkeitsprüfgeräte unterstützen die automatisierte Datenerfassung und -analyse und eignen sich daher für die Chargenprüfung.

7.3 Gefügeanalyse von reinen Wolframelektroden

Die Mikrostrukturanalyse wird verwendet, um die Korngröße, die Defekte und die Mikrostrukturgleichmäßigkeit von reinen Wolframelektroden zu bewerten, die die Qualität und Leistungsstabilität ihrer Produktionsprozesse widerspiegeln. Zu den gängigen Methoden gehören die optische Mikroskopie, die Rasterelektronenmikroskopie (REM) und die Korngrößenanalyse.

7.3.1 Lichtmikroskopische Betrachtung

Die optische Mikroskopie wird verwendet, um die Kornstruktur, Poren und Einschlüsse des Elektrodenquerschnitts mit Vergrößerungen von 50-1000x zu betrachten. Der Testprozess umfasst die Probenvorbereitung, -beobachtung und -dokumentation. Zuerst wird die Elektrodenprobe geschnitten, montiert, poliert und mit einem korrosiven Mittel, wie z. B. einer Mischung aus Natriumhydroxid und Kaliumferricyanid, korrodiert, um die Korngrenzen freizulegen. Anschließend wurden die Kornmorphologie, die Defektverteilung und die Gewebegleichmäßigkeit unter einem Lichtmikroskop erfasst.

Die Vorteile optischer Mikroskope liegen in den geringen Gerätekosten, der einfachen Bedienung und der Eignung für eine schnelle Inspektion. Der Nachteil ist, dass die Auflösung begrenzt ist (ca. 0,2 μm), was die Beobachtung von nanoskaligen Defekten erschwert. Moderne Lichtmikroskope sind mit einer Bildanalysesoftware ausgestattet, die automatisch Korngrenzen identifiziert und Gewebeberichte erstellt.

7.3.2 Rasterelektronenmikroskopie (REM)

Bei der Rasterelektronenmikroskopie (REM) wird die Oberfläche einer Probe mit einem Elektronenstrahl abgetastet, um hochauflösende Bilder (bis hinunter in den Nanometerbereich) zu erzeugen, mit denen die mikroskopische Topographie, Bruchmerkmale und Defekte der Elektrode analysiert werden können. REM sind oft mit einem energiedispersiven Spektrometer (EDS) für die Analyse der lokalen chemischen Zusammensetzung ausgestattet.

Für die Prüfung werden die Proben geschnitten, poliert und mit einer leitfähigen Schicht wie Gold oder Kohlenstoff beschichtet, um die elektrische Leitfähigkeit zu verbessern. REM erzeugt durch die Wechselwirkung des Elektronenstrahls mit der Probe Signale wie Sekundärelektronen und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

rückgestreute Elektronen und erzeugt Bilder der Oberflächentopographie oder der Komponentenverteilung. REM kann Mikrorisse, Porosität und Verunreinigungsverteilung auf der Elektrodenoberfläche erkennen, um die Fehlerkontrollfähigkeit des Produktionsprozesses zu bewerten.

Die Vorteile des REM sind die hohe Auflösung, die klare Bildgebung und die eingehende Analyse von Mikrostrukturen. Die Nachteile sind teure Geräte, eine komplexe Probenvorbereitung und die Notwendigkeit, im Hochvakuum zu arbeiten. Modernes REM unterstützt die 3D-Rekonstruktion und das automatisierte Scannen und verbessert so die Analyseeffizienz.

7.3.3 Analyse der Korngröße

Die Korngröße ist ein wichtiger Parameter, der die mechanischen Eigenschaften und die Schweißleistung der Elektrode beeinflusst, und feine und gleichmäßige Körner können die Festigkeit und Zähigkeit verbessern. Die Korngrößenanalyse wird in der Regel in Verbindung mit optischer Mikroskopie oder REM durchgeführt, wobei die durchschnittliche Korngröße mit einer Bildanalysesoftware gemessen wird.

Zu den Nachweismethoden gehören die lineare Abfangmethode und die Flächenmethode. Bei der Methode "Linearer Schnittpunkt" wird die durchschnittliche Korngröße berechnet, indem zufällige gerade Linien auf dem mikroskopischen Bild gezeichnet und die Anzahl der Schnittpunkte der Korngrenzen gezählt wird. Bei der Flächenmethode wird die Größenverteilung gezählt, indem die Fläche jedes Korns gemessen wird. Normen wie ASTM E112 enthalten Spezifikationen für Korngrößenbewertungen, und reine Wolframelektroden haben typischerweise eine Korngröße von 10-50 μm .

Die Vorteile der Korngrößenanalyse sind quantitativ, intuitiv und spiegeln die Qualität der Sinter- und Wärmebehandlungsprozesse direkt wider. Der Nachteil besteht darin, dass eine große Menge statistischer Daten erforderlich ist, um die Repräsentativität zu gewährleisten. Die automatisierte Bildanalysesoftware ermöglicht die schnelle Verarbeitung mikroskopischer Bilder und verbessert so die Effizienz und Genauigkeit der Analyse.

7.4 Schweißleistungsprüfung der reinen Wolframelektrode

Der Schweißbarkeitstest bewertet die Leistung von reinen Wolframelektroden beim tatsächlichen Schweißen, einschließlich der Lichtbogeninitiierungsleistung, der Lichtbogenstabilität und der Elektrodenverbrauchsrate. Diese Tests werden unter Standard-Schweißbedingungen durchgeführt und simulieren reale Anwendungsszenarien.

7.4.1 Prüfung der Lichtbogenleistung

Die Lichtbogeneinleitungsleistung spiegelt die Schwierigkeit der Elektrode wider, den Lichtbogen zu initiieren, und die reine Wolframelektrode ist aufgrund ihrer hohen Elektronenarbeit (ca. 4,52 eV) beim Gleichstromschweißen (DC) schwieriger zu lichtzünden, aber sie schneidet beim Wechselstromschweißen (AC) besser ab. Zu den Prüfmethoden gehören:

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Standard-Schweißtest: Getestet auf Standardstrom (50-150 A), Argonschutz (8-15 L/min) und Substrat aus Aluminiumlegierung mit WIG-Schweißgeräten. Je niedriger die Lichtbogenspannung und je kürzer die Zeit, desto besser die Leistung.

Hochfrequenz-Lichtbogeninitiierungstest: Die Hochfrequenz-Lichtbogenzündungsvorrichtung wird verwendet, um die Lichtbogeninitiierung zu unterstützen, um die Reaktionsgeschwindigkeit der Elektrode bei verschiedenen Strömen zu bewerten. Der Test muss mehrmals wiederholt und gemittelt werden, um Fehler zu reduzieren.

Die Prüfausrüstung umfasst ein WIG-Schweißgerät, ein Voltmeter und eine Zeitschaltuhr, um sicherzustellen, dass die Elektrode in eine halbkugelförmige Form (AC-Schweißen) oder eine konische Form (DC-Schweißen) geschliffen wird. Der Vorteil der Leistungsprüfung beim Lichtbogenstart besteht darin, dass sie intuitiv und anwendungsnah ist, und der Nachteil ist, dass die Ergebnisse stark von der Ausrüstung und dem Bediener beeinflusst werden. Das automatisierte Prüfsystem kann die Lichtbogenstartparameter über den Sensor aufzeichnen, was die Zuverlässigkeit der Daten verbessert.

7.4.2 Prüfung der Lichtbogenstabilität

Die Lichtbogenstabilität spiegelt die Kontinuität und Gleichmäßigkeit des Lichtbogens während des Schweißprozesses wider, was sich direkt auf die Qualität der Schweißnaht auswirkt. Reine Wolframelektrode hat eine gute Lichtbogenstabilität beim AC-Schweißen, ist aber beim DC-Schweißen anfällig für Drift. Zu den Prüfmethoden gehören:

Spannungsschwankungsanalyse: Aufzeichnung von Lichtbogenspannungsschwankungen unter Standard-Schweißbedingungen (100-200 A, Argonschutz). Je geringer die Spannungsschwankung, desto stabiler ist der Lichtbogen. Zu den Prüfgeräten gehören Oszilloskope und Spannungssensoren.

Visuelle Beobachtung: Die Bogenform wird mit einer Hochgeschwindigkeitskamera aufgezeichnet und die Länge, Form und Drift des Bogens analysiert. Der Stabilisierungsbogen sollte sich ohne nennenswerte Sprünge oder Unterbrechungen verjüngen.

Bewertung der Schweißqualität: Schweißbretter werden verwendet, um die Gleichmäßigkeit der Schweißnaht, den Einbrand und Oberflächenfehler zu überprüfen. Ein stabiler Lichtbogen erzeugt eine glatte, porenfreie Schweißnaht.

Die Prüfung der Lichtbogenstabilität erfordert die Kontrolle von Parametern wie Substrat, Strom und Gasfluss, um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Moderne Prüfsysteme liefern quantitative Auswertungen, indem sie Lichtbogenbilder und Spannungsdaten durch künstliche Intelligenz analysieren.

7.4.3 Prüfung der Elektrodenverbrauchsrate

Die Elektrodenverbrauchsrate spiegelt die Verlustrate der Elektrode beim Schweißen wider, und die

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

reine Wolframelektrode hat aufgrund des hohen Elektronenaustritts, insbesondere bei hohem Strom (>200 A), einen höheren Arbeitsverbrauch. Zu den Prüfmethoden gehören:

Längenverlustmessung: Messung der Elektrodenlängenreduzierung unter Standardschweißbedingungen (200 A, AC-Schweißen, 30 Minuten). Die Verbrauchsrate wird in mm/h ausgedrückt und beträgt typischerweise 0,1-0,5 mm/h.

Messung des Massenverlusts: Der Massenverlust pro Zeiteinheit wird berechnet, indem die Massendifferenz zwischen den Elektroden vor und nach dem Schweißen mit einer hochpräzisen Waage gemessen wird. Die Massenverlustmethode ist genauer und für Labortests geeignet.

Endmorphologieanalyse: Beobachten Sie die Morphologie der Elektrode nach dem Schweißen durch ein Mikroskop, um den Grad des Verbrennungsverlusts und der Verflüchtigung zu beurteilen. Eine stabile Spitzenmorphologie, wie z. B. eine halbkugelförmige Form, deutet auf eine geringe Verbrauchsrate hin.

Bei der Prüfung des Elektrodenverbrauchs müssen die Schweißzeit, der Strom und der Winkel der Elektrode gesteuert werden, um konsistente Ergebnisse zu gewährleisten. Das automatisierte Prüfsystem kann Änderungen der Elektrodenlänge und -qualität in Echtzeit aufzeichnen, um die Prüfeffizienz zu verbessern.

7.5 Umwelt- und Sicherheitsprüfung von reinen Wolframelektroden

Die Umwelt- und Sicherheitsprüfung bewertet den Umweltschutz und die Sicherheit von reinen Wolframelektroden im Produktions- und Nutzungsprozess, wobei der Schwerpunkt auf der Radioaktivitätsprüfung sowie der Staub- und Abgasemissionsprüfung liegt.

7.5.1 Radioaktivitätsdetektion (Vergleich der Thorium-Wolfram-Elektrode)

Reine Wolframelektroden sind nicht radioaktiv, was ein wesentlicher Vorteil gegenüber thorierten Wolframelektroden (mit Thoriumoxid, ThO₂) darstellt. Die Radioaktivitätsprüfung dient dazu, die Sicherheit von reinen Wolframelektroden zu verifizieren und mit thorierten Wolframelektroden zu vergleichen. Zu den Untersuchungsergebnissen gehören:

Gammastrahlendetektion: Die Gammastrahlendosisleistung ($\mu\text{Sv/h}$) wird durch Messung des Radioaktivitätsniveaus der Elektrode mit einem Geigerzähler oder Szintillationsdetektor aufgezeichnet. Die Dosisleistung von reinen Wolframelektroden sollte nahe am Hintergrundstrahlungsniveau (etwa 0,1 $\mu\text{Sv/h}$) liegen, während Thorium-Wolfram-Elektroden 1-10 $\mu\text{Sv/h}$ erreichen können.

Radionuklidanalyse: Radionuklide (z. B. Th-232, U-238) in Elektroden werden mit einem hochreinen Germaniumdetektor (HPGe) analysiert, um sicherzustellen, dass keine radioaktiven Verunreinigungen vorhanden sind. Die Erkennung muss in einem abgeschirmten Raum durchgeführt werden, um Hintergrundstörungen zu reduzieren.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Die Radioaktivitätsdetektion hat den Vorteil, dass sie schnell und zuverlässig ist und sicherstellt, dass die Elektroden den Sicherheitsstandards (z. B. ISO 6848) entsprechen. Der Nachteil ist, dass die Geräte teuer sind und professionell bedient werden müssen. Die nicht-radioaktive Natur von reinen Wolframelektroden macht sie in Szenarien mit hohen Umwelt- und Sicherheitsanforderungen noch vorteilhafter.

7.5.2 Staub- und Abgaserkennung

Bei den Schleif-, Polier- und Sinterprozessen bei der Herstellung von reinen Wolframelektroden können Wolframstaub und Abgase (z. B. Wolframoxiddampf) entstehen, und die Emissionswerte müssen getestet werden, um die Umweltvorschriften einzuhalten. Zu den Untersuchungsergebnissen gehören:

Staubkonzentrationserkennung: Die Staubkonzentration in der Produktion wird mit einem Laser-Staubmessgerät oder einer gravimetrischen Methode gemessen, um sicherzustellen, dass sie unter dem Arbeitsplatzgrenzwert (z. B. 4 mg/m³ in der chinesischen Norm) liegt. Die Probenahmestelle muss die Schleif- und Polierbereiche abdecken.

Abgasanalyse: Die Zusammensetzung des aus dem Sinterofen emittierten Abgases wird mit einem Gasanalysator (z.B. Infrarotspektrometer) zur Analyse der Konzentration von Wolframoxid, Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) ermittelt. Das Abgas muss nach der Entstaubung und Adsorptionsbehandlung abgeführt werden.

Abwasseruntersuchung: Wolfram und andere Schwermetalle im Abwasser von Reinigungs- und Reinigungsprozessen werden mittels ICP-OES oder Spektrophotometrie analysiert, um die Einhaltung von Einleitungsnormen (z. B. China GB 25466-2010) sicherzustellen.

Staub- und Abgasdetektionen sollten regelmäßig durchgeführt werden, und es sollte ein Online-Überwachungssystem zur Aufzeichnung von Emissionsdaten in Echtzeit eingerichtet werden. Moderne Umweltgeräte wie HEPA-Filter und Nasswäscher können die Emissionen erheblich reduzieren und die Anforderungen an eine umweltfreundliche Fertigung erfüllen.

7.6 Kalibrierung und Normung von Prüfgeräten für reine Wolframelektroden

Die Kalibrierung und Standardisierung von Prüfmitteln ist der Schlüssel zur Gewährleistung der Genauigkeit und Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse, was sich direkt auf die Zuverlässigkeit der Qualitätskontrolle auswirkt.

7.6.1 Methoden zur Gerätekalibrierung

Die Kalibrierung von Prüfmitteln erfolgt regelmäßig und in Übereinstimmung mit internationalen oder nationalen Normen (e.g. ISO/IEC 17025). Zu den gängigen Kalibrierungsmethoden gehören:

ICP-OES-Kalibrierung: Kalibrieren Sie die Empfindlichkeit und den Linearitätsbereich des Geräts, indem Sie eine Standardkurve unter Verwendung einer Multielement-Standardlösung (mit

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

bekanntem Konzentrationen von Wolfram, Eisen, Nickel usw.) zeichnen. Die Kalibrierung wird wöchentlich durchgeführt und die Kalibrierfaktoren werden aufgezeichnet.

RFA-Kalibrierung: Kalibrieren Sie die Fluoreszenzintensität in Abhängigkeit von der Elementkonzentration unter Verwendung einer Standardprobe, z. B. eines hochreinen Wolframblocks. Die Kalibrierung wird monatlich durchgeführt, um eine konsistente Prüfung zu gewährleisten.

Kalibrierung des Härteprüfgeräts: Die Eindringgröße und die Belastung werden mit Standardhärteblöcken (z. B. HV 400) mit einem Fehler von ± 2 % kalibriert. Die Kalibrierung erfolgt vierteljährlich.

Mikroskopkalibrierung: Verwenden Sie eine Standardskala, um die Vergrößerung und Bildauflösung mit einem Fehler von ± 1 % zu kalibrieren. Die Kalibrierung wird jährlich durchgeführt.

Die Kalibrierung wird von einem Fachmann durchgeführt und das Kalibrierdatum, die Parameter und die Ergebnisse werden aufgezeichnet. Das automatisierte Kalibriersystem kann die Kalibriereffizienz verbessern, indem es die Injektion und Datenanalyse von Standardproben über Software steuert.

7.6.2 Internationale Prüfnormen

Wolframelektroden werden nach internationalen Standards getestet, um eine globale Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Zu den relevanten Normen gehören:

ISO 6848:2015: legt die Anforderungen an die Prüfung der chemischen Zusammensetzung und der Eigenschaften von Wolframelektroden fest und empfiehlt die Verwendung von ICP-OES oder RFA für den Nachweis von Bestandteilen und die mikroskopische Analyse von Geweben.

AWS A5.12:2009: Erfordert die Überprüfung der chemischen Zusammensetzung und Oberflächenqualität von Elektroden und empfiehlt zerstörungsfreie Methoden wie RFA für eine schnelle Analyse.

ASTM E112: Bietet eine Standardmethode zur Korngrößenmessung für die Mikrostrukturanalyse.

ISO 14001: Enthält Richtlinien für das Umweltmanagement für die Staub- und Abgasdetektion mit Schwerpunkt auf Emissionskontrolle und -überwachung.

Diese Standards bilden die Grundlage für die Standardisierung von Nachweismethoden. In Zukunft könnten internationale Prüfnormen künstliche Intelligenz und Big-Data-Technologien weiter integrieren, um genauere Prüfspezifikationen zu entwickeln.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung



Reine Wolframelektroden von CTIA GROUP LTD

Kapitel 8 Analyse der Vor- und Nachteile der reinen Wolframelektrode

Als traditioneller Werkstoff für das Wolfram-Argon-Lichtbogenschweißen (WIG-Schweißen) nimmt die reine Wolframelektrode (WP-Elektrode) aufgrund ihrer einzigartigen physikalischen und chemischen Eigenschaften eine wichtige Position in der Schweißindustrie ein. Sein Anwendungsbereich und seine Leistung sind jedoch begrenzt, insbesondere im Vergleich zu dotierten Wolframelektroden (wie z. B. Cer-Wolfram- und Lanthan-Wolfram-Elektroden). In diesem Kapitel werden die Vor- und Nachteile von reinen Wolframelektroden systematisch analysiert und die Richtung ihrer Verbesserung erörtert, um eine Orientierungshilfe für die Produktion und Anwendung zu geben.

8.1 Vorteile der reinen Wolframelektrode

Reine Wolframelektroden haben aufgrund ihrer Kostenvorteile, ihrer hohen Temperaturstabilität und ihrer Eignung für das AC-Schweißen in bestimmten Szenarien einen unersetzlichen Wert. Im Folgenden werden die Vorteile unter drei Aspekten erläutert.

8.1.1 Niedrige Kosten

Einer der Hauptvorteile von reinen Wolframelektroden sind ihre relativ niedrigen Produktionskosten, wodurch sie sich ideal für Schweißanwendungen mit hohen wirtschaftlichen Anforderungen eignen. Die reine Wolframelektrode besteht aus hochreinem Wolfram ($\geq 99,5\%$) und ist nicht mit Seltenerdoxid (wie Ceroxid, Lanthanoxid oder Thoriumoxid) dotiert, wodurch der Einsatz teurer Additive und komplexer Formulierungen vermieden wird. Als seltenes Metall mit reichlich vorhandenen Reserven in der Welt (China macht etwa 50 % der weltweiten Reserven aus) hat Wolfram eine stabile Rohstofflieferkette und geringe Preisschwankungen. Darüber hinaus ist der

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

Produktionsprozess von reinen Wolframelektroden (z. B. Pulvermetallurgie und Druckverarbeitung) sehr ausgereift, die Ausrüstung ist sehr vielseitig und die Großserienproduktion senkt die Kosten weiter.

Im Vergleich zu dotierten Elektroden sind bei der Herstellung von reinen Wolframelektroden keine zusätzlichen Reinigungs- und Dotierungsprozesse für Seltene Erden erforderlich, was den Energieverbrauch und die Arbeitskosten erheblich senkt. Zum Beispiel erfordern Cer-Wolfram-Elektroden eine präzise Kontrolle der gleichmäßigen Verteilung von Ceroxid, was das Sintern und die Qualitätskontrolle komplexer macht, während der Produktionsprozess von reinen Wolfram-Elektroden viel einfacher ist. Der Kostenvorteil macht reine Wolframelektroden in kostensensiblen Branchen wie dem Bauwesen, dem Schiffbau und der allgemeinen Zerspanung weit verbreitet. Darüber hinaus vermeidet die nicht-radioaktive Natur von reinen Wolframelektroden die Anforderungen einer speziellen Lagerung und Entsorgung, was die Nutzungskosten weiter senkt und dem Trend der umweltfreundlichen Fertigung entspricht.

In der Praxis eignen sich Wolframelektroden aufgrund ihrer geringen Kosten für hochvolumige Schweißaufgaben wie Aluminiumfassaden, Automobilteile und Druckbehälter. Obwohl ihre Leistung in mancher Hinsicht nicht so gut ist wie die von dotierten Elektroden, bieten reine Wolframelektroden eine kostengünstige Option für AC-Schweißszenarien mit moderaten Qualitätsanforderungen.

8.1.2 Hohe Temperaturstabilität

Aufgrund ihres extrem hohen Schmelzpunkts (3422 °C) und ihrer hervorragenden Hochtemperaturstabilität sind reine Wolframelektroden in der Lage, die strukturelle Integrität und die stabile Leistung in rauen Schweißumgebungen aufrechtzuerhalten. Wolfram hat den höchsten Schmelzpunkt aller Metalle, so dass reine Wolframelektroden Temperaturschocks bei hohen Lichtbogentemperaturen (ca. 6000-7000 °C) standhalten können, wodurch das Risiko von Schmelzen, Verbrennungen oder Verformungen verringert wird. Diese Eigenschaft sorgt dafür, dass die Elektrode auch bei hohen Strömen (100-300 A) oder bei langen Dauerschweißarbeiten eine stabile Endform beibehält, was zu einer langen Lebensdauer führt.

Beim Wechselstromschweißen bilden reine Wolframelektroden in der Regel halbkugelförmige Enden, die dazu beitragen, die Lichtbogenenergie gleichmäßig zu verteilen, die lokale Überhitzung zu reduzieren und die Schweißqualität zu verbessern. Sein niedriger Dampfdruck (nahe 0 Pa bei 3000 °C) reduziert die Materialverdampfung bei hohen Temperaturen weiter und behält die Dimensionsstabilität und Lichtbogenkonsistenz der Elektrode bei. Darüber hinaus ermöglicht die hervorragende Wärmeleitfähigkeit der reinen Wolframelektrode (ca. 173 W/m·K) eine schnelle Ableitung der Lichtbogenwärme und verhindert eine Erweichung oder Rissbildung der Enden durch Überhitzung.

Durch die hohe Temperaturstabilität von reinen Wolframelektroden eignen sie sich hervorragend zum Schweißen von Leichtmetallen (z. B. Aluminium, Magnesium) und deren Legierungen,

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

insbesondere in der Luft- und Raumfahrt-, Automobil- und Elektronikindustrie. Die hohe Wärmeleitfähigkeit und die Oxidfilmeigenschaften von Aluminiumlegierungen erfordern, dass die Elektrode bei hohen Temperaturen stabil bleibt, und die Leistung von reinen Wolframelektroden kann diese Anforderungen erfüllen. Darüber hinaus ist es aufgrund seiner chemischen Stabilität weniger anfällig für Reaktionen mit der Umgebung unter dem Schutz von Inertgasen wie Argon oder Helium, wodurch die Reinheit der Schweißnaht gewährleistet wird.

8.1.3 Geeignet für AC-Schweißen

Die hervorragende Leistung der reinen Wolframelektrode beim AC-Schweißen (AC) ist ihr wichtigster Anwendungsvorteil, der sich besonders für das Schweißen von Leichtmetallen mit Oxidfilmen wie Aluminium, Magnesium und deren Legierungen eignet. Beim Wechselstromschweißen wird das dynamische Gleichgewicht des Lichtbogens durch den abwechselnden positiven und negativen Halbzyklus des Wechselstroms realisiert. Die Elektrode aus reinem Wolfram emittiert während des positiven Halbzyklus (die Elektrode ist die Kathode) Elektronen, wodurch ein Hochtemperaturlichtbogen erzeugt wird. Während des negativen Halbzyklus (das Werkstück ist die Kathode) erzeugt der Lichtbogen einen "kathodischen Reinigungseffekt" auf dem Oxidfilm (z. B. Al_2O_3 , Schmelzpunkt von etwa 2050 °C) auf der Oberfläche des Werkstücks, wodurch die Oxidschicht effektiv entfernt und eine saubere Schweißnaht gebildet wird.

Reine Wolframelektroden bilden beim AC-Schweißen stabile halbkugelförmige Enden, wodurch die Lichtbogenverteilung und die Energieübertragung optimiert und das Risiko einer Lichtbogendrift oder -unterbrechung verringert wird. Ihr hoher Schmelzpunkt und ihre hohe Wärmeleitfähigkeit sorgen dafür, dass die Elektrode während des thermischen Wechsels von Wechselströmen stabil bleibt, wodurch sie für Hochfrequenz- oder Hochstromschweißbedingungen geeignet ist. Darüber hinaus sind reine Wolframelektroden aufgrund ihrer nicht-radioaktiven Natur in Branchen mit hohen Sicherheitsanforderungen (z. B. Lebensmittelverarbeitungsanlagen, Herstellung medizinischer Geräte) vorteilhafter und entsprechen besser den Umweltvorschriften als thoriierte Wolframelektroden (die radioaktives Thoriumoxid enthalten).

AC-Schweißanwendungen für reine Wolframelektroden decken die Bau-, Schifffahrts-, Luft- und Raumfahrt- und Automobilindustrie ab. Beim Schweißen von Schiffsstrukturen aus Aluminium sorgen reine Wolframelektroden beispielsweise für glatte, fehlerfreie Schweißnähte, die die Anforderungen an Korrosionsbeständigkeit und Festigkeit erfüllen. In der Luft- und Raumfahrt setzt das Präzisionsschweißen von Aluminium- und Magnesiumlegierungen auf den stabilen Lichtbogen von reinen Wolframelektroden, der eine hohe Zuverlässigkeit der Komponenten gewährleistet. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Know-how der reinen Wolframelektroden beim AC-Schweißen es zum Material der Wahl für das Leichtmetallschweißen macht.

8.2 Nachteile der reinen Wolframelektrode

Trotz der erheblichen Vorteile von reinen Wolframelektroden schränken ihre Leistungseinschränkungen ihre Anwendung in bestimmten Schweißszenarien ein, insbesondere

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

beim Gleichstromschweißen und bei hohen Temperaturen und hohen Lastbedingungen. Im Folgenden werden die Nachteile unter drei Aspekten analysiert.

8.2.1 Schlechte Gleichstromschweißleistung

Die Leistung von reinen Wolframelektroden beim Gleichstromschweißen (DC) ist schlecht, hauptsächlich aufgrund ihrer hohen Elektronenarbeit (ca. 4,52 eV), was zu einer schwierigen Lichtbogeninitiierung und Lichtbogeninstabilität führt. Bei der positiven Gleichstromschaltung (DCSP) muss die Elektrode eine große Anzahl von Elektronen wie die Kathode emittieren, und die hohe Elektronenarbeit erfordert eine höhere Lichtbogenspannung, die anfällig für keine Lichtbögen oder Lichtbogensprünge ist. Bei der umgekehrten Gleichpolarität (DCRP) fungiert die Elektrode unter einer höheren thermischen Belastung als Anode, was zu Überhitzung, Verbrennung oder Endverformung führen kann.

Im Gegensatz dazu haben Elektroden, die mit Seltenerdoxid dotiert sind (z. B. Cer-Wolfram-Elektroden, haben etwa 2,7-3,0 eV; Lanthan-Wolfram-Elektrode, ca. 2,8-3,2 eV) hat eine niedrigere Lichtbogen-Startspannung und einen stabileren Lichtbogen beim Gleichstromschweißen und wird häufig beim Schweißen von Edelstahl, Kohlenstoffstahl und Nickellegierungen eingesetzt. Aufgrund der Einschränkungen von reinen Wolframelektroden beim Gleichstromschweißen sind ihre Anwendungen hauptsächlich auf Szenarien mit geringer Nachfrage beschränkt, wie z. B. temporäre Reparatur oder Niedrigstromschweißen, während dotierte Elektroden hauptsächlich beim hochpräzisen oder hocheffizienten Gleichstromschweißen verwendet werden.

Um dieses Manko zu beheben, kann die Lichtbogeninitiierungsleistung mittels einer Hochfrequenz-Lichtbogenschlagvorrichtung oder durch Optimierung des Winkels am Ende der Elektrode (z. B. eines Konus) verbessert werden, aber der Effekt ist begrenzt. Darüber hinaus kann die Lichtbogeninstabilität beim Gleichstromschweißen zu ungleichmäßigen Schweißnähten oder vermehrten Defekten führen, was die Wettbewerbsfähigkeit von reinen Wolframelektroden beim Hochleistungsschweißen einschränkt.

8.2.2 Hoher Elektrodenverbrauch

Wolframelektroden haben einen hohen Elektrodenverbrauch, insbesondere bei hohen Strömen (>200 A) oder langfristigem Dauerschweißen, aufgrund des hohen Elektronenaustritts, der zu einer hohen Endtemperatur führt, die die Verflüchtigung und den Verbrennungsverlust des Materials beschleunigt. Der Verbrauch äußert sich in der allmählichen Verkürzung der Elektrodenlänge und der Änderung der Endmorphologie, z. B. von einer halbkugelförmigen zu einer unregelmäßigen Form, die sich auf die Stabilität des Lichtbogens und die Qualität der Schweißnaht auswirkt.

Beim Wechselstromschweißen verlangsamt die Bildung von halbkugelförmigen Enden den Verbrauch teilweise, aber die Verbrauchsrate ist bei hohen Frequenzen oder instabilen Strömen immer noch hoch. Beim DC-Schweißen ist die Verbrauchsrate noch bedeutender, insbesondere bei der DC-Vorwärtsschaltung (DCSP), bei der der Hochtemperaturbetrieb der Elektroden zu einem schnellen Materialverlust führt. Im Gegensatz dazu haben dotierte Elektroden (z. B. Lanthan-

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Wolfram-Elektroden) aufgrund der geringeren Elektronenaustrittsarbeit und der stabileren Endmorphologie typischerweise niedrigere Verbrauchsdaten als reine Wolframelektroden.

Durch die hohe Verbrauchsrate steigt die Häufigkeit von Elektrodenwechseln und die Betriebskosten, was insbesondere beim automatisierten Schweißen zu Produktionsunterbrechungen führen kann. Um die Lebensdauer der Elektrode zu verlängern, müssen die Enden regelmäßig geschärft werden, um die richtige Form zu erhalten, und die Schweißparameter (z. B. reduzierter Strom, erhöhter Gasschutz) sollten optimiert werden. Häufiges Schleifen erhöht jedoch den Arbeits- und Zeitaufwand, was den Einsatz von reinen Wolframelektroden beim Hochlastschweißen einschränkt.

8.2.3 Schwierigkeiten bei Lichtbögen und instabilen Lichtbögen

Schwierige Lichtbogeninitiierung und Lichtbogeninstabilität sind die Hauptnachteile der reinen Wolframelektrode, die eng mit ihrer hohen Elektronenaustrittsarbeit verbunden sind. Beim Gleichstromschweißen erschweren hohe Lichtbogenspannungen und unregelmäßige Elektronenemission die Initiierung oder Aufrechterhaltung eines Lichtbogens, insbesondere bei niedrigen Strömen (<50 A) oder hohen Frequenzen. Beim Wechselstromschweißen kann die Wechselwirkung von positiven und negativen Halbzyklen des Wechselstroms die Schwierigkeit des Lichtbogens teilweise mildern, aber es ist immer noch eine höhere Lichtbogenspannung erforderlich.

Die Instabilität des Lichtbogens äußert sich in Form von Lichtbogendrift, Sprung oder Unterbrechung, die die Gleichmäßigkeit und Qualität der Schweißnaht beeinträchtigt. Oberflächenverunreinigungen (z. B. Oxide, Öle) oder eine unsachgemäße Endmorphologie (z. B. übermäßiger Verschleiß) können die Instabilität weiter verschlimmern und erfordern eine regelmäßige Reinigung und Schleifung der Elektrode. Darüber hinaus stellen reine Wolframelektroden hohe Anforderungen an Schweißgeräte, die mit einer Hochfrequenz-Lichtbogenschlagvorrichtung oder einer stabilen Stromversorgung ausgestattet sein müssen, um die Lichtbogenzündungsleistung zu verbessern.

Im Vergleich zu dotierten Elektroden weisen reine Wolframelektroden eine schlechte Lichtbogenstabilität auf, insbesondere beim Gleichstromschweißen. Cer-Wolfram- und Lanthan-Wolfram-Elektroden reduzieren die Elektronenarbeit durch die Dotierung von Seltenerdoxid, was die Lichtbogeneinleitungsleistung und Lichtbogenstabilität deutlich verbessert und für eine Vielzahl von Schweißszenarien geeignet ist. Dieses Manko von reinen Wolframelektroden schränkt ihre Anwendung beim hochpräzisen und hocheffizienten Schweißen ein, was durch Prozessoptimierungen oder Ausrüstungsverbesserungen ausgeglichen werden muss.

8.3 Verbesserungsrichtung der reinen Wolframelektrode

Um die Mängel der reinen Wolframelektroden zu überwinden und ihre Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern, erforschen Forscher und Unternehmen Verbesserungspfade aus drei Richtungen: Prozessoptimierung, Legierungsforschung und Entwicklung neuer Elektrodenmaterialien. Diese Verbesserungen zielen darauf ab, die Schweißleistung der Elektroden zu verbessern, den Verbrauch

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

zu senken und das Anwendungsspektrum zu erweitern.

8.3.1 Prozessoptimierung

Die Prozessoptimierung ist ein direkter Weg, um die Leistung von reinen Wolframelektroden zu verbessern, wobei der Schwerpunkt auf der Verbesserung des Produktionsprozesses und der Optimierung der Schweißparameter liegt. Auf der Produktionsseite kann die Qualität der Elektroden verbessert werden durch:

Hohe Reinheitskontrolle: Die Reinheit von Wolframpulver wird durch den Einsatz fortschrittlicher Reinigungstechnologien wie Ionenaustausch und Lösungsmittelextraktion auf 99,99 % erhöht, und der Einfluss von Verunreinigungen auf die Leistung der Lichtbogeninitiation und die Lichtbogenstabilität wird reduziert. Optimieren Sie die Reduktions- und Sinterprozesse, reduzieren Sie den Sauerstoffgehalt (z. B. $\leq 0,01$ %) und verbessern Sie die Leitfähigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit der Elektrode.

Kornverfeinerung: Das Kornwachstum wird durch Schnellsintertechniken (z. B. Entladungspulverintern, SPS) oder die Zugabe von Spurenhemmern (z. B. Aluminiumoxid) kontrolliert, um eine feine und gleichmäßige Kornstruktur (10-20 μm) zu erhalten. Die Kornverfeinerung verbessert die Härte und Zähigkeit der Elektrode und reduziert die Verbrauchsrate bei hohen Temperaturen.

Verbesserung der Oberflächenqualität: Verbessern Sie Polier- und Reinigungsprozesse, reduzieren Sie die Oberflächenrauheit und reduzieren Sie die Beeinträchtigung der Lichtbogenstabilität durch Oberflächenfehler. Automatische Poliergeräte werden verwendet, um die Oberflächenkonsistenz zu gewährleisten und die Schweißleistung der Elektrode zu verbessern.

Bei Schweißanwendungen kann die Leistung von reinen Wolframelektroden durch die Optimierung von Parametern und Geräten verbessert werden. Zum Beispiel kann die Stromwellenform (z. B. Rechteckwellenwechselstrom) angepasst werden, um die Lichtbogenleistung zu reduzieren, und die Durchflussrate von Argon- oder Heliumschutzgas (10-20 l/min) kann erhöht werden, um die Lichtbogenstabilität zu verbessern. Darüber hinaus können die Hochfrequenz-Lichtbogenauslösevorrichtung und das fortschrittliche WIG-Schweißgerät die Schwierigkeit des Lichtbogenschweißens erheblich verbessern, was für Gleichstromschweißszenarien geeignet ist.

Die Vorteile der Prozessoptimierung sind niedrige Kosten, bewährte Technologie und eine schnelle Implementierung auf der bestehenden Produktion. Der Nachteil ist, dass der Verbesserungsbereich begrenzt ist und es schwierig ist, die grundlegende Einschränkung des Arbeitsergebnisses mit hohen Elektronen vollständig zu überwinden.

8.3.2 Studien zur Legierung

Legierungsstudien verbessern die elektrischen und mechanischen Eigenschaften von reinem Wolfram durch Zugabe von Spurenelementen zu seiner Matrix, während Kostenvorteile und nicht-

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

radioaktive Eigenschaften erhalten bleiben. Das Ziel des Legierens ist es, die Arbeit der Elektronenentwicklung zu reduzieren, die Lichtbogenstabilität zu verbessern und die Verbrauchsrate zu senken, und zu den gängigen Forschungsrichtungen gehören:

Spurendotierung von Seltenen Erden: Seltenerdoxide (z. B. Lanthanoxid, Ceroxid) werden mit einem niedrigen Gehalt (<0,5 %) zu reinem Wolfram hinzugefügt, um die Elektronenarbeit (auf 4,0-4,2 eV) zu reduzieren und die Lichtbogeninitiierungsleistung und Lichtbogenstabilität zu verbessern. Durch die Spurendotierung bleibt der Kostenvorteil von reinem Wolfram erhalten und gleichzeitig die Gleichstromschweißleistung verbessert.

Dotierung von Nicht-Seltenerdmetallen: Untersuchen Sie die Zugabe von Nicht-Seltenerdoxiden wie Zirkonoxid (ZrO_2) oder Yttriumoxid (Y_2O_3), um die Hochtemperaturfestigkeit und Kriechbeständigkeit der Elektrode zu verbessern und die Verbrauchsrate zu senken. Diese Elemente sind nicht radioaktiv und erfüllen die Umweltauflagen.

Kompositdotierung: Kombinieren Sie eine Vielzahl von Oxiden (z. B. Lanthanoxid + Zirkonoxid) für die Verbindungsdotierung, um die umfassende Leistung der Elektrode zu optimieren. Die Dotierung von Verbundwerkstoffen sorgt für ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Lichtbogeneinleitungsleistung, Lichtbogenstabilität und Haltbarkeit und eignet sich daher für das Schweißen mit hoher Last.

Legierungsstudien müssen die Verteilung und den Gehalt der dotierten Elemente genau kontrollieren, um Leistungsschwankungen zu vermeiden, die durch inhomogene Dotierung verursacht werden. Moderne Produktionstechniken (z.B. Plasmadotierung, chemische Gasphasenabscheidung) ermöglichen eine hochhomogene Dotierung und eine verbesserte Elektrodenqualität. Das Legieren kann jedoch die Produktionskosten und die Prozesskomplexität erhöhen, was einen Kompromiss zwischen Leistungssteigerungen und Wirtschaftlichkeit erfordert.

8.3.3 Entwicklung neuer Elektrodenmaterialien

Die Entwicklung neuer Elektrodenmaterialien zielt darauf ab, die Grenzen reiner Wolframelektroden grundlegend zu überwinden und Materialien mit geringerer Elektronenaustrittsarbeit, höherer Haltbarkeit und breiterer Anwendbarkeit zu erforschen. Zu seinen Forschungsinteressen gehören:

Nanokristalline Wolframelektrode: Zur Herstellung von Elektroden wird Nanowolframpulver (Partikelgröße < 100 nm) verwendet, wobei die Härte, Zähigkeit und Lichtbogenstabilität durch ultrafeine Kornstruktur verbessert wird. Die Elektronenarbeit der nanokristallinen Wolframelektrode ist etwas geringer als die der herkömmlichen Wolframelektrode, und die Lichtbogeninitiierungsleistung wird verbessert. Schnellsintererntechniken, wie z.B. SPS, sind der Schlüssel zur Realisierung nanokristalliner Elektroden.

Wolframmatrix-Verbundwerkstoffe: Die Entwicklung von Kompositelektroden aus Wolfram und hochleitfähigen Materialien (wie Kupfer und Graphen) in Kombination mit dem hohen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Schmelzpunkt von Wolfram und der hervorragenden Leitfähigkeit von Verbundwerkstoffen (>50% IACS) reduziert die Lichtbogen­spannung und den Elektrodenverbrauch erheblich. Verbundwerkstoffe müssen die Herausforderungen der Grenzflächenverklebung und der Hochtemperaturstabilität bewältigen.

Neuartige nicht-radioaktive Elektroden: Erforschen Sie andere Materialien als Wolfram, wie z. B. Legierungen auf Molybdän- oder Hafniumbasis, als nicht schmelzende Elektroden mit geringer Elektronenentweichungsarbeit. Diese Materialien müssen einen hohen Schmelzpunkt (>2000 °C) und eine hohe chemische Stabilität aufweisen und gleichzeitig kostengünstig und umweltfreundlich sein.

Der Vorteil der Entwicklung neuer Materialien besteht darin, dass es ein großes Potenzial gibt, die Leistung der Elektroden erheblich zu verbessern und das Anwendungsfeld zu erweitern, wie z. B. bei der Halbleiterherstellung, bei Kernfusionsanlagen und beim Schweißen von ultrahochfesten Materialien. Die Nachteile sind, dass der F&E-Zyklus lang ist, die Kosten hoch sind und die Förderung neuer Materialien eine strenge Industriezertifizierung und Marktverifizierung durchlaufen muss. In Zukunft wird die Entwicklung neuer Elektrodenmaterialien die Innovation der Schweißtechnik fördern, und es ist notwendig, die Implementierung der Technologie in Kombination mit der Zusammenarbeit zwischen Industrie, Universität und Forschung zu beschleunigen.



Elektrode aus reinem Wolfram mit scharfer Spitze

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

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

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

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

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

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

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

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Kapitel 9 Markt- und Entwicklungstrend der reinen Wolframelektrode

Als wichtiges Verbrauchsmaterial für das Wolfram-Argon-Lichtbogenschweißen (WIG-Schweißen) nimmt die reine Wolframelektrode (WP-Elektrode) eine wichtige Position in der globalen Schweißindustrie ein. Die Marktentwicklung wird von mehreren Faktoren beeinflusst, wie z. B. Rohstoffversorgung, Produktionstechnologie, Umweltschutzanforderungen und internationaler Wettbewerb. In diesem Kapitel werden der globale Marktüberblick, die aktuelle Situation des chinesischen Marktes, der technologische Entwicklungstrend und die Herausforderungen für die reine Wolframelektrode analysiert und eine umfassende Referenz für Praktiker und Forscher aus der Industrie bereitgestellt.

9.1 Überblick über den globalen Markt für Wolframelektroden

Der globale Markt für reine Wolframelektroden ist eng mit der Entwicklung der Schweißindustrie verbunden, die in der Luft- und Raumfahrt, im Automobilbau, im Schiffbau und im Bauwesen weit verbreitet ist. Im Folgenden finden Sie einen Überblick über den aktuellen Stand des Weltmarktes in Bezug auf die wichtigsten Produktionsländer sowie die Marktgröße und -nachfrage.

9.1.1 Wichtigste Erzeugerländer

Die weltweite Produktion von reinen Wolframelektroden konzentriert sich auf Länder mit reichhaltigen Wolframressourcen und technologisch fortschrittlichen Industriemächten, hauptsächlich darunter China, die Vereinigten Staaten, Deutschland, Japan und Russland.

China: Als weltweit größte Wolframressource (mit einem Anteil von etwa 50 % an den weltweiten Reserven) dominiert China die Produktion von reinen Wolframelektroden. Hunan, Jiangxi und Henan verfügen über reichhaltige Wolframervorkommen und bilden eine komplette Industriekette vom Wolframabbau bis zur Elektrodenproduktion.

Vereinigte Staaten: Die Vereinigten Staaten sind ein wichtiger Produzent von reinen Wolframelektroden mit fortschrittlicher Produktionstechnologie und strengen Qualitätsstandards. Das Unternehmen konzentriert sich auf Hochleistungs-Wolframelektroden, die in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Nuklearindustrie weit verbreitet sind. Der US-Markt wird von High-End-Anwendungen dominiert, die sich auf die Förderung von nicht-radioaktiven Elektroden wie reinen Wolfram- und Cer-Wolfram-Elektroden konzentrieren.

Deutschland: Deutschland ist bekannt für seine Präzisionsfertigung, bei der hochwertige reine Wolframelektroden für die Automobilindustrie, die Luft- und Raumfahrt sowie den Maschinenbau hergestellt werden. Das Unternehmen nutzt fortschrittliche Technologien der Pulvermetallurgie und Oberflächenbehandlung, um nach Europa und in die Welt gemäß DIN EN ISO 6848 zu exportieren.

Japan: Die Produktion von Wolframelektroden in Japan ist hauptsächlich hochpräzise und miniaturisiert, um den Anforderungen der Elektronik-, Automobil- und

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Präzisionsmaschinenindustrie gerecht zu werden. Das Unternehmen achtet auf die Oberflächenqualität und die Schweißleistung der Elektrode, und die Produkte erfüllen die Norm JIS Z 3233. Auf dem japanischen Markt besteht eine hohe Nachfrage nach Elektroden mit kleinem Durchmesser (0,5-2,0 mm).

Russland: Russland verfügt über reichlich Wolframerzvorkommen und niedrige Produktionskosten, und seine reinen Wolframelektroden werden hauptsächlich an den heimischen und osteuropäischen Markt geliefert. Die Unternehmen haben Vorteile bei der Herstellung von kostengünstigen Elektroden, aber ihr technisches Niveau und ihr Markeneinfluß sind relativ gering.

Diese Länder haben ein Wettbewerbsmuster auf dem globalen Markt für reine Wolframelektroden gebildet, wobei China in Bezug auf Produktion und Kosten führend ist, die Vereinigten Staaten, Deutschland und Japan den High-End-Markt mit Technologie und Dienstleistungen besetzen und Russland den Low-End-Markt mit Ressourcenvorteilen ergänzt.

9.1.2 Marktgröße und Nachfrage

Die globale Marktgröße für Wolframelektroden hat mit dem Wachstum der Schweißindustrie Schritt gehalten, angetrieben durch die Fertigung, den Infrastrukturbau und die neue Energiewirtschaft. Branchendaten zufolge wird die globale Marktgröße für Wolframelektroden im Jahr 2024 etwa 1,5 Milliarden US-Dollar betragen, wovon etwa 30 % bis 35 % oder 4,5 bis 525 Millionen US-Dollar auf reine Wolframelektroden entfallen werden. Es wird erwartet, dass die Marktgröße mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 3 % bis 5 % wachsen und bis 2030 6 bis 700 Millionen US-Dollar erreichen wird, angetrieben von:

Nachfrage in der Luft- und Raumfahrt: Die steigende Nachfrage nach Präzisionsschweißen von Aluminium- und Magnesiumlegierungen in der Luft- und Raumfahrt treibt den Einsatz von reinen Wolframelektroden beim AC-Schweißen voran. Für den Flugzeugbau von Boeing und Airbus sind beispielsweise hochzuverlässige Schweißnähte erforderlich, und reine Wolframelektroden sind wichtige Verbrauchsmaterialien.

Entwicklung der Automobilindustrie: Die globale Automobilindustrie wandelt sich zum Leichtbau, und die Nachfrage nach Schweißen von Aluminiumlegierungen und Edelstahl wächst. Reine Wolframelektroden werden häufig bei der Herstellung von Automobilteilen (wie Karosserien und Batteriegehäusen) eingesetzt, insbesondere im Bereich der Fahrzeuge mit neuer Energie.

Infrastruktur: Der Bau von Infrastrukturen (z. B. Hochgeschwindigkeitszüge, Brücken, Gebäude) in Asien, Afrika und Lateinamerika hat die Nachfrage nach dem Schweißen von Aluminium-Strukturteilen vorangetrieben, und reine Wolframelektroden werden aufgrund ihrer Kostenvorteile bevorzugt.

Neue Energiewirtschaft: Bei der Herstellung von Solarzellen und Windkraftanlagen werden Dünnschichtabscheidungen und Metallverbindungen hergestellt, und die Nachfrage nach reinen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Wolframelektroden als Sputtertargets und Schweißmaterialien wächst stetig.

In Bezug auf die geografische Verteilung macht der asiatisch-pazifische Raum (hauptsächlich China, Indien und Südostasien) etwa 50 % des Weltmarktanteils aus und profitiert von der rasanten Entwicklung der Fertigung und der kostengünstigen Produktion. Auf Nordamerika und Europa entfallen jeweils 20 bis 25 %, wobei High-End-Anwendungen dominieren. Der Nahe Osten und Afrika haben einen geringeren Marktanteil (rund 5 %), aber mit der Beschleunigung der Industrialisierung zeichnet sich das Nachfragepotenzial ab.

9.2 Marktanalyse für Wolframelektroden in China

China ist der weltweit größte Produzent und Verbraucher von reinen Wolframelektroden, und seine Marktentwicklung wird von den Vorteilen der heimischen Wolframressourcen, der Modernisierung der Fertigung und der Umweltschutzpolitik beeinflusst. Im Folgenden wird der chinesische Markt unter zwei Aspekten analysiert: Produktionskapazität und Marktnachfrage sowie Anwendungsfelder.

9.2.1 Inländische Produktionskapazität

Chinas Produktionskapazität für reine Wolframelektroden steht weltweit an erster Stelle und stützt sich auf reiche Wolframerzressourcen und eine perfekte Industriekette. Im Jahr 2024 wird Chinas jährliche Produktionskapazität für Wolframelektroden etwa 25.000 Tonnen betragen, wovon etwa 40 % oder 10.000 Tonnen auf reine Wolframelektroden entfallen werden. Zhuzhou in Hunan, Ganzhou in der Provinz Jiangxi und Luoyang in der Provinz Henan sind die Hauptproduktionsstandorte und bilden eine komplette Industriekette vom Wolframerzabbau über die Wolframpulveraufbereitung bis hin zur Elektrodenverarbeitung.

Die Vorteile der chinesischen Produktionskapazität sind niedrige Kosten, großer Maßstab und stabile Lieferkette. In den letzten Jahren haben heimische Unternehmen die Produktionseffizienz und Produktqualität durch die Einführung fortschrittlicher Anlagen (z. B. Vakuum-Sinteröfen in Deutschland und automatische Drahtziehmaschinen in Japan) verbessert. Gleichzeitig haben einige Unternehmen ihre Investitionen in Forschung und Entwicklung erhöht, ultrafeines Wolframpulver und nanokristalline Elektroden entwickelt und den technologischen Abstand zu europäischen und amerikanischen Ländern schrittweise verringert.

Chinas Produktionskapazitäten sind jedoch auch mit Umweltbelastungen und Überkapazitäten konfrontiert. Der Abbau und die Reinigung von Wolfram sind mit einem hohen Energieverbrauch und einer hohen Abwassereinleitung verbunden, die den Anforderungen des Umweltschutzgesetzes und der Nationalen Liste gefährlicher Abfälle unterliegen. Überkapazitäten haben zu einem harten Wettbewerb auf dem Low-End-Markt geführt, und Preiskämpfe haben die Gewinnmargen gedrückt, was die Unternehmen dazu veranlasst hat, sich in High-End-Märkte zu wandeln.

9.2.2 CLP-Marktbedürfnisse und Nachfragebereiche

Chinas Nachfrage nach reinem Strom beträgt etwa 12.000 Tonnen, was etwa 60 % des inländischen Strommarktes ausmacht.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Bau und Infrastruktur: Der Bau von Hochgeschwindigkeitszügen, Brücken und Vorhangfassaden hat das Wachstum der Nachfrage nach dem Schweißen von Aluminiumlegierungen vorangetrieben, und reine elektrische Elektrizität wird aufgrund ihres Kostenvorteils häufig im Baubereich eingesetzt. So werden beispielsweise beim Schweißen von Aluminium-Strukturteilen der Beijing-Xiong'an Intercity Railway und des Shenzhen Bay Supertall Building reine Wolframelektroden verwendet.

Automobilbau: Die Batterieschale, die Karosserie und die Teile aus Aluminiumlegierungen von Fahrzeugen mit neuer Energie müssen mit hoher Präzision geschweißt werden, und reine Wolframelektroden nehmen beim Wechselstromschweißen eine wichtige Position ein. Im Jahr 2024 wird die Produktion von New Energy Vehicles in China 8 Millionen Einheiten überschreiten, was das Wachstum der Elektrodennachfrage vorantreibt.

Luft- und Raumfahrt: COMAC (z. B. C919-Flugzeuge) und Luft- und Raumfahrtprogramme (z. B. Raketen der Serie Langer Marsch) haben strenge Schweißanforderungen für Aluminiumlegierungen und Magnesiumlegierungen, und reine Wolframelektroden werden aufgrund ihrer nicht radioaktiven und stabilen Leistung bevorzugt.

Marine & Offshore Engineering: Im Schiffbau und im Offshore-Plattformbau in Küstengebieten wird eine große Anzahl von Aluminiumlegierungen geschweißt, und reine Wolframelektroden sind in diesen Szenarien stabil gefragt.

Elektronik und neue Energie: Bei der Herstellung von Solarzellen und Halbleitern werden reine Wolframelektroden als Sputtertargets und Schweißmaterialien immer häufiger eingesetzt.

Der chinesische Markt ist geprägt von einer Vielzahl von Anforderungen, die vom kostengünstigen Allzweckschweißen bis hin zum Hochleistungs-Präzisionsschweißen reichen. In Zukunft wird erwartet, dass der chinesische Markt für reine Wolframelektroden mit der Modernisierung der Fertigungsindustrie und der Weiterentwicklung der "Belt and Road"-Initiative mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 3 % bis 4 % weiter wachsen wird, insbesondere bei High-End-Anwendungen.

9.3 Entwicklungstrend der rein elektrischen Elektrodentechnologie

Die Entwicklung rein elektrischer Elektroden wird durch hocheffiziente Stromerzeugung, Umweltauflagen sowie neue Materialforschung und -energie vorangetrieben, mit dem Ziel, die Leistung zu verbessern, Kosten zu senken und gesetzliche Anforderungen zu erfüllen. Die folgenden drei Aspekte von Technologietrends werden diskutiert.

9.3.1 Technologien für eine effiziente Stromerzeugung

Effiziente Produktionstechnologien zielen darauf ab, die Zykluszeiten zu verkürzen, den Energieverbrauch zu senken und die Produktqualität zu verbessern. Zu den wichtigsten Technologien gehören:

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

Kontinuierliche Produktion: Entwicklung eines kontinuierlichen Sinterofens und einer automatischen Drahtziehmaschine, um eine kontinuierliche Produktion vom Pressen bis zur Verarbeitung zu erreichen und den Produktionszyklus um 20 % bis 30 % zu verkürzen. So heizt sich beispielsweise der mittelfrequente Induktions-Durchlaufsinterofen schnell auf und verbessert die Homogenität des Grünkörpers.

Intelligente Fertigung: Optimieren Sie die Betriebseffizienz von Anlagen durch Überwachung von Produktionsparametern mit dem industriellen Internet der Dinge (IIoT) und Sensoren. Die intelligente Ausrüstung der Produktionsanlage kann die Dichte- und Größenabweichung des Grünkörpers in Echtzeit erkennen, um die Ausschussrate zu reduzieren.

Rapid Sintering-Technologie: Beim Entladungsplasmasintern (SPS) werden elektrische Impulse verwendet, um die Sinterzeit auf Minuten zu verkürzen, das Korn (<10 µm) zu verfeinern und die Festigkeit und Haltbarkeit der Elektrode zu verbessern. SPS wurde in der Produktion von High-End-Elektroden pilotiert.

Die Anwendung dieser Technologien wird die Verbesserung der Produktionseffizienz fördern, die Stückkosten senken und die Wettbewerbsfähigkeit des Marktes erhöhen. Hohe Investitions- und Wartungskosten für Ausrüstung können jedoch die Förderung in KMU einschränken.

9.3.2 Umweltfreundliche Produktionsverfahren

Umweltfreundliche Prozesse stehen im Mittelpunkt, um auf den regulatorischen Druck und die Anforderungen einer umweltfreundlichen Fertigung zu reagieren, und zu den Schlüsseltechnologien gehören:

Niedrigenergiereinigung: Ionenaustausch- und Membrantrenntechnologie werden eingesetzt, um die traditionelle Hydrometallurgie zu ersetzen und Abwasser- und Abgasemissionen zu reduzieren. Die neue Reinigungsanlage kann mehr als 90 % der wolframhaltigen Abfallflüssigkeit zurückgewinnen und die Umweltbelastung reduzieren.

Abfallrecycling: Einrichtung eines Recyclingsystems für Wolframabfälle zur Rückgewinnung von Wolframpulver durch Hochtemperaturröstung und elektrolytische Reduzierung, um Ressourcenverschwendung zu reduzieren. Einige Unternehmen in China haben Verfahren mit einer Recyclingquote von 80 Prozent entwickelt.

Ungiftige Prozesssubstitution: Förderung von Reinigungsmitteln auf Wasserbasis und ungiftigen grünen Farben (z. B. Farben auf Acrylbasis), um herkömmliche organische Lösungsmittel und bleihaltige Farben zu ersetzen, in Übereinstimmung mit der EU-REACH-Verordnung und den chinesischen RoHS-Standards.

Angetrieben von erneuerbarer Energie: Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks durch die Nutzung von Solar- oder Windkraft für den Betrieb von Sinter- und Wärmebehandlungsanlagen. Pilotprojekte

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

haben gezeigt, dass erneuerbare Energien den Energieverbrauch in der Produktion um 30 % senken können.

Die Förderung umweltfreundlicher Prozesse muss ein Gleichgewicht zwischen Kosten und Einhaltung der Vorschriften herstellen, aber mit der Verschärfung der Umweltschutzvorschriften und der Stärkung des Umweltbewusstseins der Verbraucher hat die Marktakzeptanz allmählich zugenommen.

9.3.3 Forschung und Entwicklung einer neuen Wolframelektrode

Die Forschung und Entwicklung neuer Wolframelektroden zielt darauf ab, die Leistungsgrenzen reiner Wolframelektroden zu überwinden und die Anforderungen des Hochleistungsschweißens zu erfüllen, und die Hauptrichtungen umfassen:

Nanokristalline Wolframelektrode: Die Elektrode wird unter Verwendung von Nano-Wolframpulver hergestellt, um die Härte und Lichtbogenstabilität durch ultrafeine Körner (<50 nm) zu verbessern. Die Lichtbogenzündungsleistung und die Verbrauchsrate von Nanoelektroden sind besser als die von herkömmlichen Elektroden und eignen sich daher für die Luft- und Raumfahrt- und Halbleiterindustrie.

Mikrolegierte Elektrode: Spurenoxidation (z. B. Zirkonoxid, Yttriumoxid) wird reinem Wolfram zugesetzt, um die Arbeit der Elektronenentwicklung (auf 4,0-4,2 eV) zu reduzieren und die Gleichstromschweißleistung zu verbessern. Die mikrolegierte Elektrode behält den Kostenvorteil und die nicht-radioaktiven Eigenschaften von reinem Wolfram bei.

Kompositelektroden auf Wolframbasis: Die Entwicklung von Verbundwerkstoffen aus Wolfram und Graphen oder Kohlenstoffnanoröhren, kombiniert mit einem hohen Schmelzpunkt und einer hervorragenden elektrischen Leitfähigkeit (>40% IACS), verbessert die Aushärtung und Haltbarkeit erheblich. Die Kompositelektrode muss das Problem der Grenzflächenstabilität bei hohen Temperaturen lösen.

Die Forschung und Entwicklung neuer Elektroden muss mit der Marktnachfrage und der Produktionsmachbarkeit kombiniert werden, z. B. müssen die Produktionskosten von Nanoelektroden weiter gesenkt werden, um eine großtechnische Anwendung zu erreichen. In Zukunft werden die Zusammenarbeit zwischen Industrie, Hochschulen und Forschung sowie der internationale technische Austausch den Industrialisierungsprozess neuer Elektroden beschleunigen.

9.4 Herausforderungen der Oberflächenelektrizität für reine elektrische Elektroden

Obwohl sich der Markt für reine elektrische Elektroden rasant entwickelt, steht er vor zahlreichen Herausforderungen, darunter schwankende Rohstoffpreise, ökologischer regulatorischer Druck und technologischer Wettbewerb.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

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

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

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

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

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

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

9.4.1 Schwankungen der Rohstoffpreise

Da es sich um ein seltenes Metall handelt, wird der Preis von Wolfram von Angebot und Nachfrage, der Geopolitik und der Mineralpolitik beeinflusst. Im Jahr 2024 wird der Preis für Wolframkonzentrat zwischen 120.000 und 150.000 RMB pro Tonne schwanken, was sich auf die Produktionskosten für reine Wolframelektroden auswirkt. Zu den Hauptgründen für die Preiserhöhung gehören:

Ressourcenknappheit: Chinas Quotenmanagement für den Wolframabbau hat das Angebotswachstum begrenzt.

Exportnachfrage: Die gestiegene Nachfrage nach nicht-radioaktiven Elektroden in Europa und den Vereinigten Staaten hat den internationalen Wolframpreis in die Höhe getrieben.

Geopolitische Risiken: Geopolitische Ereignisse wie der Russland-Ukraine-Konflikt könnten die russische Wolframversorgung stören.

Preisschwankungen erhöhen die Unsicherheit der Produktionskosten, insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen. Zu den Strategien gehören langfristige Verträge mit Lieferanten, die Entwicklung von Technologien zum Recycling von Wolframschrott und die Erkundung alternativer Materialien, aber die Volatilität der Rohstoffpreise wird kurzfristig ein großes Risiko bleiben.

9.4.2 Regulatorischer Druck auf die Umwelt

Die Herstellung von Wolframelektroden ist mit einem hohen Energieverbrauch und Schadstoffemissionen verbunden und unterliegt immer strengeren Umweltauflagen, wie dem chinesischen Umweltschutzgesetz und der Abfallrahmenrichtlinie der Europäischen Union. Zu den Herausforderungen gehören:

Abwasserbehandlung: Wolframhaltige Abwässer aus der Wolframreinigung und -reinigung müssen auf einen Schwermetallgehalt von weniger als 0,01 mg/l aufbereitet werden, was die Aufbereitungskosten erhöht.

Abgaskontrolle: Der Staub und das Wolframoxidgas, die beim Sintern und Schleifen entstehen, müssen durch hocheffiziente Filtration und Adsorption behandelt werden, und die Investitionen in die Ausrüstung sind hoch.

Einschränkungen beim Energieverbrauch: Chinas "Dual Carbon"-Ziele (Carbon Peaking und Carbon Neutrality) verlangen von Unternehmen, den Energieverbrauch pro Einheit zu senken, und traditionelle energieintensive Prozesse laufen Gefahr, auslaufen.

Die Kosten für die Einhaltung von Umweltvorschriften können die Finanzierung von Forschung und Entwicklung verdrängen und die technologische Innovation beeinträchtigen. Unternehmen müssen die Compliance-Kosten durch grüne Prozesse und den Einsatz erneuerbarer Energien senken und sich gleichzeitig staatliche Subventionen und grüne finanzielle Unterstützung sichern.

9.4.3 Internationaler Wettbewerb und technologische Hemmnisse

Der Markt für rein elektrische Elektroden ist hart umkämpft, und internationaler Wettbewerb und technische Barrieren sind die größten Herausforderungen:

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

High-End-Marktbarrieren: Amerikanische, deutsche und japanische Unternehmen besetzen den High-End-Markt mit fortschrittlichen Technologien (wie SPS-Sintern und nanokristalline Verarbeitung), und Markeneffekt- und Technologiepatente schränken den Markteintritt chinesischer Unternehmen ein.

Wettbewerb auf den Low-End-Märkten: Billigproduzenten in Ländern wie China, Vietnam und Indien liefern sich Preiskämpfe auf Low-End-Märkten, und die Gewinnmargen sinken weiter.

Technologielücke: Europäische und amerikanische Unternehmen sind führend auf dem Gebiet der neuen Elektrodenmaterialien (z. B. Verbund-Wolfram-Elektroden) und der intelligenten Fertigung, während chinesische Unternehmen noch Durchbrüche bei Kernausrüstungen (z. B. hochpräzisen Drahtziehmaschinen) und High-End-Prozessen erzielen müssen.

Um im internationalen Wettbewerb bestehen zu können, ist es notwendig, die technologische Forschung und Entwicklung, den Markenaufbau und die internationale Zusammenarbeit zu stärken. Zum Beispiel können wir durch die Zusammenarbeit mit deutschen Unternehmen bei der Einführung fortschrittlicher Geräte oder durch die Beteiligung an der Entwicklung internationaler Standards wie der ISO unsere Stimme erheben. Darüber hinaus können differenzierte Wettbewerbsstrategien (z. B. kundenspezifische Elektroden, grüne Zertifizierung) Unternehmen dabei helfen, Marktbarrieren zu durchbrechen.



Reine Wolframelektroden von CTIA GROUP LTD

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

Kapitel 10 Schlussfolgerungen

Als Kernverbrauchsmaterial des Wolfram-Argon-Lichtbogenschweißens (WIG-Schweißen) hat die reine Wolframelektrode (WP-Elektrode) aufgrund ihres hohen Schmelzpunkts, ihres Kostenvorteils und ihrer nicht-radioaktiven Eigenschaften eine wichtige Rolle beim Schweißen und in anderen Industriebereichen gespielt. Dieses Buch erläutert systematisch den Herstellungsprozess, die Produktionsausrüstung, die Prüfmethode, die in- und ausländischen Normen, den Marktstatus sowie die Vor- und Nachteile von reinen Wolframelektroden und zeigt umfassend ihre technischen Eigenschaften und ihren Anwendungswert auf. In diesem Kapitel wird eine umfassende Bewertung von reinen Wolframelektroden vorgenommen, ein Ausblick auf die zukünftige Entwicklungsrichtung geworfen und Vorschläge für Forschung und Anwendung unterbreitet, um Praktikern und Forschern in der Industrie als Referenz zu dienen.

10.1 Umfassende Bewertung der Elektrode aus reinem Wolfram

Als frühester nicht schmelzender Elektrodentyp, der beim WIG-Schweißen verwendet wird, wurden die Leistungs- und Anwendungseigenschaften der Elektrode aus reinem Wolfram in der Langzeitpraxis vollständig verifiziert. Es folgt eine umfassende Bewertung unter vier Aspekten: Technische Leistungsfähigkeit, Einsatzszenarien, Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz.

Technische Leistung

Die reine Wolframelektrode besteht aus hochreinem Wolfram ($\geq 99,5\%$), das einen sehr hohen Schmelzpunkt ($3422\text{ }^{\circ}\text{C}$), eine ausgezeichnete Wärmeleitfähigkeit (ca. $173\text{ W/m}\cdot\text{K}$) und einen niedrigen Dampfdruck aufweist, was es ihr ermöglicht, die strukturelle Stabilität und die morphologische Integrität in einer Hochtemperatur-Lichtbogenumgebung ($6000\text{-}7000\text{ }^{\circ}\text{C}$) aufrechtzuerhalten. Diese Eigenschaften machen es besonders gut beim AC-Schweißen (AC), insbesondere beim Schweißen von Leichtmetallen mit Oxidfilmen, wie Aluminium, Magnesium und deren Legierungen. Beim AC-Schweißen erzielen reine Wolframelektroden durch die abwechselnde Wirkung von positiven und negativen Halbzyklen den Effekt einer "kathodischen Reinigung", wodurch die Oxidschicht (z. B. Al_2O_3 , Schmelzpunkt von ca. $2050\text{ }^{\circ}\text{C}$) effektiv entfernt wird und eine saubere, hochwertige Schweißnaht entsteht.

Die hohe Elektronenarbeit (ca. $4,52\text{ eV}$) von reinen Wolframelektroden führt jedoch zu ihrer Lichtbogeninitiierung und Lichtbogeninstabilität beim Gleichstromschweißen (DC), was ihre Wettbewerbsfähigkeit bei Schweißanwendungen von Edelstahl, Kohlenstoffstahl und anderen Materialien einschränkt. Darüber hinaus ist der Elektrodenverbrauch hoch, insbesondere bei hohen Strömen ($>200\text{ A}$) oder bei langen kontinuierlichen Schweißarbeiten, bei denen das Endmaterial flüchtig ist, was zu kürzeren Längen und verringerter Leistung führt. Im Vergleich zu dotierten Elektroden (wie z. B. Cer-Wolfram- und Lanthan-Wolfram-Elektroden) ist die Elektronenarbeit von etwa $2,7\text{-}3,2\text{ eV}$ in der umfassenden Schweißleistung etwas unterlegen, hat aber in bestimmten Szenarien immer noch unersetzliche Vorteile.

Die hohe Dichte ($19,3\text{ g/cm}^3$), Härte (HV 350-450) und chemische Stabilität von reinen

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Wolframelektroden machen sie ideal für Widerstandsschweißelektroden, Plasmaschneidelektroden, Thermoelktronenemissionsmaterialien, Sputtertargets und Gegengewichte in Nichtschweißanwendungen. In der Halbleiterfertigung können beispielsweise reine Wolframelektroden als Sputtertargets verwendet werden, um hochwertige Wolframschichten zu bilden; In der Luft- und Raumfahrt werden seine Gegengewichte mit hoher Dichte eingesetzt, um den strukturellen Ausgleich zu optimieren. Insgesamt ist die technische Leistung von reinen Wolframelektroden bei Anwendungen, die hohe Temperaturen, hohe Präzision und Nicht-Radioaktivität erfordern, hervorragend, aber ihre Vielseitigkeit muss durch Prozessoptimierung weiter verbessert werden.

Ökonomisch

Einer der wesentlichen Vorteile von reinen Wolframelektroden sind ihre niedrigen Produktionskosten. Im Vergleich zu dotierten Elektroden müssen bei reinen Wolframelektroden keine Seltenerdoxide (wie z.B. Ceroxid, Lanthanoxid) hinzugefügt werden, was teure Rohstoffe und aufwendige Dotierungsprozesse vermeidet und die Produktionskosten senkt. Die weltweiten Wolframressourcen sind reichlich vorhanden (China macht etwa 50 % der Reserven aus), die Lieferkette ist stabil und die Preisschwankungen von Wolframkonzentrat sind relativ kontrollierbar (etwa 12-150.000 Yuan/Tonne im Jahr 2024). Darüber hinaus ist der Produktionsprozess von reinen Wolframelektroden (z. B. Pulvermetallurgie, Druckverarbeitung) sehr ausgereift, und die Großserienproduktion hat die Stückkosten weiter gesenkt.

In Anwendungen machen die niedrigen Kosten von reinen Wolframelektroden sie in kostensensiblen Branchen wie dem Bauwesen, dem Schiffbau und der allgemeinen Bearbeitung weithin attraktiv. Zum Beispiel werden reine Wolframelektroden häufig für das Schweißen von Aluminiumfassaden, Schiffsstrukturen und Automobilteilen verwendet, um Qualität und Kosten in Einklang zu bringen. Die hohe Verbrauchsrate und der häufige Schleifbedarf erhöhen jedoch die Einsatzkosten, insbesondere beim Hochlastschweißen, das einen häufigeren Elektrodenwechsel erfordert, was indirekt die Betriebskosten erhöht. Insgesamt haben reine Wolframelektroden offensichtliche Vorteile in kostensensiblen Anwendungen, aber in Hochleistungsszenarien gibt es einen Kompromiss zwischen Leistung und Wirtschaftlichkeit.

Umweltfreundlichkeit und Sicherheit

Die nicht-radioaktive Natur von reinen Wolframelektroden besteht darin, dass sie radioaktiver sind als thorierte Wolframelektroden (die radioaktives Thoriumoxid enthalten, ThO_2) mit erheblichen Vorteilen. Die Radioaktivität von Thorium-Wolfram-Elektroden (Gammadosisleistung von ca. 1-10 $\mu\text{Sv/h}$) stellt ein Sicherheitsrisiko bei der Herstellung, Lagerung und Entsorgung dar, während die Dosisleistung von reinen Wolframelektroden nahe am Hintergrundstrahlungsniveau (ca. 0,1 $\mu\text{Sv/h}$) liegt, was der EU-REACH-Verordnung und dem chinesischen RoHS-Standard entspricht. Diese Eigenschaft macht es in sicherheitskritischen Bereichen wie Lebensmittelverarbeitungsanlagen, Medizinprodukten und der Luft- und Raumfahrt noch attraktiver.

Die Aspekte des Umweltschutzes bei der Herstellung von reinen Wolframelektroden sind jedoch

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

nicht zu übersehen. Die Reinigung und das Sintern von Wolframern sind mit einem hohen Energieverbrauch und Abwasseremissionen verbunden, wie z. B. wolframhaltige Abfallflüssigkeiten und Wolframoxiddämpfe, müssen streng behandelt werden, um die Anforderungen des Umweltschutzgesetzes und anderer Vorschriften zu erfüllen. In den letzten Jahren haben Unternehmen ihre Umweltbelastung durch den Einsatz von Technologien wie Ionenaustausch, Abfallrecycling und erneuerbaren Energiequellen wie Solarenergie reduziert, aber die Kosten für die Einhaltung der Vorschriften bleiben eine Herausforderung für KMU. Insgesamt haben reine Wolframelektroden inhärente Vorteile in Bezug auf Umweltschutz und Sicherheit, aber der Produktionsprozess muss weiter optimiert werden, um eine umweltfreundliche Fertigung zu erreichen.

Anwendungsszenarien

Die Anwendungsszenarien von reinen Wolframelektroden konzentrieren sich hauptsächlich auf das AC-WIG-Schweißen, das sich besonders für das Schweißen von Aluminium, Magnesium und deren Legierungen eignet und in der Luft- und Raumfahrt, im Automobilbau, im Schiffbau und im Bauwesen weit verbreitet ist. In der Luft- und Raumfahrt werden beispielsweise reine Wolframelektroden zum Schweißen von Rümpfen aus Aluminiumlegierungen und Teilen aus Magnesiumlegierungen von C919-Flugzeugen verwendet. In der Automobilindustrie spielt es eine wichtige Rolle beim Schweißen von Batteriegehäusen für Fahrzeuge mit neuen Energien. Darüber hinaus werden Wolframelektroden auch häufig in nicht-schweißenden Anwendungen wie Plasmaschneiden, Sputtertargets und Gegengewichten eingesetzt, was ihre Vielseitigkeit unter Beweis stellt.

Die Einschränkungen beim Gleichstromschweißen schränken jedoch die Schweißanwendungen in Edelstahl, Nickellegierungen und anderen Materialien ein, und dotierte Elektroden sind in diesen Szenarien vorteilhafter. Darüber hinaus schränken der schnelle Verbrauch und der hohe Wartungsaufwand von reinen Wolframelektroden beim Hochlast- oder Hochfrequenzschweißen auch deren Wettbewerbsfähigkeit in der automatisierten Produktion ein. Insgesamt haben reine Wolframelektroden einzigartige Vorteile beim AC-Schweißen und in bestimmten Nicht-Schweißbereichen, aber bei Allzweck- und Hochleistungsanwendungen sind weitere Verbesserungen erforderlich.

10.2 Zukünftige Entwicklungsperspektiven der reinen Wolframelektrode

Mit dem Wandel und der Modernisierung der globalen Fertigungsindustrie, dem Aufstieg der neuen Energiewirtschaft und den immer strengeren Umweltschutzvorschriften wird die zukünftige Entwicklung von reinen Wolframelektroden von technologischen Innovationen, der Marktnachfrage und der politischen Ausrichtung bestimmt. Im Folgenden wird ein Ausblick auf die zukünftigen Trends unter den drei Aspekten technologischer Fortschritt, Marktexpansion und grüne Entwicklung gegeben.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

CTIA GROUP LTD

Pure Tungsten electrode Introduction

1. Overview of Pure Tungsten Electrode

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

2. Main Applications of Pure Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

3. Basic Data of Pure Tungsten Electrode

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

4. Supply Form and Packaging of Pure Tungsten Electrode

Form: Polished rods, with customized ground tips

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

Customization: Dimensions, packaging, and tips can be customized

5. Procurement Information

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

Website: www.tungsten.com.cn

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Technologische Fortschritte

Technologischer Fortschritt ist der Schlüssel zur Verbesserung der Leistung und Wettbewerbsfähigkeit von reinen Wolframelektroden, und die zukünftige Entwicklung wird sich auf die folgenden Richtungen konzentrieren:

Hohe Reinheit und Kornoptimierung: Durch fortschrittliche Reinigungstechnologien wie Ionenaustausch und Lösungsmittelextraktion wird die Reinheit von Wolframpulver auf 99,99 % erhöht und der Einfluss von Verunreinigungen (wie Sauerstoff und Eisen) auf die Lichtbogenstabilität reduziert. Schnellsintertechnologien wie das Entladungsplasmasintern (SPS) können Körner auf weniger als 10 µm veredeln, die Härte und Haltbarkeit der Elektrode verbessern und die Verbrauchsrate senken. Die Forschung und Entwicklung der nanokristallinen Wolframelektrode wird die Lichtbogeninitiierungsleistung und die Lichtbogenstabilität weiter verbessern und ihre Anwendung beim Gleichstromschweißen erweitern.

Smart Manufacturing & Automation: Das Industrial Internet of Things (IIoT) und die Sensorik werden die intelligente Transformation von Produktionslinien vorantreiben. So reduzieren beispielsweise intelligente Systeme, die die Temperatur des Sinterofens, die Spannung der Drahtziehmaschine und die Oberflächenqualität der Elektroden in Echtzeit überwachen, die Ausschussraten und steigern die Produktivität. Die Popularisierung automatisierter Produktionslinien (wie z. B. kontinuierliche Sinteröfen, Roboterpolieranlagen) wird den Produktionszyklus um 20 % bis 30 % verkürzen und die Arbeitskosten senken.

Entwicklung neuer Materialien: Mikrolegierte Elektroden (z. B. die Zugabe von Zirkonoxid oder Yttriumoxid) und Wolframmatrix-Komposite (z. B. Wolfram-Graphen-Kompositelektroden) werden zu Hotspots in der Forschung und Entwicklung. Diese Materialien reduzieren die Arbeit der Elektronenentwicklung (auf 4,0-4,2 eV) und verbessern die Gleichstromschweißleistung, während der Kostenvorteil und die nicht-radioaktiven Eigenschaften von reinem Wolfram erhalten bleiben. Die Industrialisierung neuer Elektroden muss die Probleme der Kostenkontrolle und der Prozessstabilität lösen, und es wird erwartet, dass sie in den nächsten 5-10 Jahren eine großtechnische Anwendung erreichen wird.

Technologische Fortschritte werden die Leistung von reinen Wolframelektroden erheblich verbessern, sie beim Hochpräzisions- und Hochlastschweißen wettbewerbsfähiger machen und gleichzeitig ihre Anwendung in aufstrebenden Bereichen wie Halbleitern und der Nuklearindustrie fördern.

Markterweiterung

Es wird erwartet, dass der globale Markt für reine Wolframelektroden mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 3 % bis 5 % wachsen wird, und es wird erwartet, dass die Marktgröße bis 2030 6 bis 700 Millionen US-Dollar erreichen wird. Zu den Treibern der Marktexpansion gehören:

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Wachstum in den Schwellenländern: Das rasante Wachstum in der Fertigung und im Infrastrukturbau im asiatisch-pazifischen Raum (China, Indien, Südostasien) treibt die Nachfrage nach reinen Wolframelektroden an. So werden beispielsweise Hochgeschwindigkeitsbahnprojekte in Indien und der Hafenausbau in Südostasien die Nachfrage nach dem Schweißen von Aluminiumlegierungen erhöhen, und der Kostenvorteil von reinen Wolframelektroden macht es auf diesen Märkten dominant.

Neue Energien und Hightech-Industrien: Die Nachfrage nach hochreinen Wolframmaterialien in Solarzellen, Windkraftanlagen und Halbleiterfertigung steigt, und reine Wolframelektroden werden als Sputtertargets und Schweißmaterialien verwendet. So werden beispielsweise die Dünnschichtabscheidung in der Photovoltaikindustrie und die Batterieherstellung für Fahrzeuge mit neuer Energie die Nachfrage nach Elektroden ankurbeln.

Durchbruch in High-End-Anwendungen: Mit der Optimierung des Produktionsprozesses erhalten reine Wolframelektroden mehr Möglichkeiten beim Präzisionsschweißen in der Luft- und Raumfahrt sowie in der Nuklearindustrie. So wird beispielsweise die Nachfrage nach nicht-radioaktiven Hochleistungselektroden in Projekten wie dem Internationalen Thermonuklearen Versuchsreaktor (ITER) die technologische Aufrüstung und Marktexpansion von reinen Wolframelektroden fördern.

Die Marktexpansion muss sich jedoch mit dem Wettbewerb und den internationalen Handelshemmnissen für dotierte Elektroden auseinandersetzen. Europäische und amerikanische Unternehmen besetzen den High-End-Markt mit ihren technologischen Vorteilen, und chinesische Unternehmen müssen ihre Wettbewerbsfähigkeit durch Markenbildung und differenzierte Produkte wie kundenspezifische Elektroden verbessern. Darüber hinaus verschafft die Belt and Road Initiative (BRI) chinesischen Unternehmen Zugang zu Märkten im Nahen Osten, in Afrika und Lateinamerika und muss politische Dividenden nutzen, um ihre Exporte auszuweiten.

Grüne Entwicklung

Umweltschutz und nachhaltige Entwicklung sind langfristige Trends in der reinen Wolframelektrodenindustrie, die durch das globale Ziel der "Klimaneutralität" und Umweltvorschriften vorangetrieben werden. Zu den zukünftigen Richtungen gehören:

Umweltfreundlicher Produktionsprozess: Führen Sie eine energiesparende Reinigungstechnologie (z. B. Membrantrennung) und ein Abfallrecyclingsystem ein, um Abwasser- und Abgasemissionen zu reduzieren. Das Pilotprojekt hat gezeigt, dass die Abfallrecyclingquote 80 % erreichen kann, wodurch die Ressourcenverschwendung erheblich reduziert wird. Durch den Einsatz erneuerbarer Energien (z.B. Solar-, Windkraft) beim Sintern und bei der thermischen Verarbeitung können die CO₂-Emissionen um 30% reduziert werden.

Förderung ungiftiger Materialien: Förderung von grünen Farben auf Wasserbasis und ungiftigen Reinigungsmitteln, um herkömmliche bleihaltige Farben und organische Lösungsmittel zu ersetzen,

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

im Einklang mit den EU-REACH-Vorschriften und den chinesischen RoHS-Normen. Diese Materialien reduzieren Umweltbelastungen und Gesundheitsrisiken und erhöhen die Marktakzeptanz der Produkte.

Kreislaufwirtschaftsmodell: Aufbau eines Recyclingsystems für Wolframelektroden, Recycling gebrauchter Elektroden durch Hochtemperaturröstung und Elektrolysereduktion und Verringerung der Abhängigkeit von primärem Wolframerz. Das Modell der Kreislaufwirtschaft kann die Rohstoffkosten um 20 % bis 30 % senken und gleichzeitig das grüne Image der Unternehmen verbessern.

Grüne Entwicklung erfüllt nicht nur regulatorische Anforderungen, sondern stärkt auch die soziale Verantwortung von Unternehmen und die Wettbewerbsfähigkeit des Marktes. In Zukunft werden grüne Zertifizierungen (e.g. ISO 14001) der Pass für reine Wolframelektroden sein, um auf den internationalen Markt zu gelangen.

10.3 Forschungs- und Anwendungsvorschläge der reinen Wolframelektrode

Basierend auf der umfassenden Bewertung und dem zukünftigen Entwicklungstrend der reinen Wolframelektrode werden die folgenden Forschungs- und Anwendungsvorschläge unter vier Aspekten unterbreitet: Technologieforschung und -entwicklung, Produktionsoptimierung, Anwendungsförderung und politische Unterstützung.

Technologieforschung und -entwicklung

Entwicklung von Hochleistungselektroden: Erhöhung der F&E-Investitionen in nanokristalline Wolframelektroden und mikrolegierte Elektroden und Reduzierung der Elektronenarbeit durch Zugabe von Spurenoxiden (wie Yttriumoxid und Zirkonoxid) zur Verbesserung der Gleichstromschweißleistung. Die Zusammenarbeit zwischen Industrie, Universität und Forschung kann die Laborvalidierung und Industrialisierung neuer Elektroden beschleunigen.

Forschung zur Prozessoptimierung: Entwicklung von Schnellsintertechnologien und intelligenten Produktionsanlagen, um die Kornstruktur zu verfeinern und die Produktionseffizienz zu verbessern. So wird beispielsweise die SPS-Sintertechnologie gefördert, um die Sinterzeit auf Minutenniveau zu verkürzen und den Energieverbrauch zu senken. Der Einsatz von Sensoren und künstlicher Intelligenz ermöglicht die Optimierung von Produktionsparametern in Echtzeit.

Upgrade der Detektionstechnologie: Entwicklung von Online-Detektionstechnologien (z. B. laserinduzierte Breakdown-Spektroskopie, LIBS), um eine Echtzeitanalyse der chemischen Zusammensetzung und Mikrostruktur zu erreichen und die Effizienz der Qualitätskontrolle zu verbessern. Einrichtung einer einheitlichen Datenbank von Prüfnormen, um die internationale gegenseitige Anerkennung von Prüfergebnissen zu fördern.

Optimierung der Produktion

Automatisierung und Intelligenz: Förderung automatisierter Produktionslinien und intelligenter

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Überwachungssysteme, die den gesamten Prozess vom Pressen von Wolframpulver bis zur Oberflächenbehandlung abdecken. So können beispielsweise kontinuierliche Drahtziehmaschinen und Roboterpolieranlagen die Produktionseffizienz um 15 % bis 20 % steigern. Datenanalyseplattformen wie SCADA-Systeme optimieren Prozessparameter und reduzieren die Ausschussraten.

Umsetzung einer umweltfreundlichen Fertigung: Investieren Sie in umweltfreundliche Geräte (z. B. hocheffiziente Filter, Nasswäscher) zur Aufbereitung von Produktionsabwässern und Abgasen, um die Einhaltung von Umweltvorschriften zu gewährleisten. Fördern Sie erneuerbare Energien, um Ihren CO₂-Fußabdruck zu reduzieren. Etablieren Sie ein Abfallrecyclingsystem, um die Ressourcennutzung zu verbessern.

Lieferkettenmanagement: Unterzeichnung langfristiger Verträge mit Wolframerzlieferanten zur Stabilisierung der Rohstoffpreise. Entwicklung einer Technologie zum Recycling von Wolframschrott, um die Abhängigkeit von primärem Wolframerz zu verringern. Stärken Sie das digitale Management der Lieferkette, überwachen Sie Bestände und Logistik in Echtzeit und verbessern Sie die Reaktionsgeschwindigkeit.

App-Werbung

Kundenspezifische Produkte: Entsprechend den Anforderungen der Luft- und Raumfahrt, der Automobilindustrie und der neuen Energieindustrie entwickeln wir kundenspezifische Elektroden aus reinem Wolfram, wie z. B. Elektroden mit kleinem Durchmesser (0,5-1,0 mm) für die Elektronikindustrie und Elektroden mit großem Durchmesser (4,0-6,4 mm) für den Schiffbau. Maßgeschneiderte Produkte können die Wettbewerbsfähigkeit des Marktes steigern.

Internationale Marktexpansion: Nutzen Sie die "Belt and Road"-Initiative, um in den Nahen Osten, Afrika und Lateinamerika einzusteigen, um kostengünstige, leistungsstarke reine Wolframelektroden zu fördern. Nehmen Sie an internationalen Ausstellungen teil (z. B. der Schweißmesse in Essen, Deutschland) und beantragen Sie eine grüne Zertifizierung (z. B. ISO 14001), um den Markeneinfluss zu erhöhen.

Technische Schulung und Support: Bieten Sie Anwendern Schulungen zur Optimierung der Schweißparameter und zur Elektrodenverwendung an, um die Leistung von reinen Wolframelektroden beim Gleichstromschweißen zu verbessern. Zum Beispiel werden Einstellungen für den hochfrequenten Lichtbogenschlag und den Rechteckwellen-Wechselstrom empfohlen, um die Lichtbogenzündungsleistung und die Lichtbogenstabilität zu verbessern.

Politische Unterstützung

Umweltpolitische Leitlinien: Die Regierung kann Subventionsmaßnahmen einführen, um Unternehmen zu ermutigen, umweltfreundliche Produktionstechnologien und erneuerbare Energien einzuführen. Einführung strengerer Standards für den Wolframabbau und die Emissionsnormen, um den Übergang der Branche zu einer umweltfreundlichen Fertigung zu fördern.

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

Finanzierung von Technologieforschung und -entwicklung: Einrichtung eines Sonderfonds zur Unterstützung der Forschung und Entwicklung sowie der Industrialisierung neuer Wolframelektroden wie nanokristalliner Elektroden und Kompositelektroden. Förderung der gemeinsamen Forschung von Industrie, Universität und Forschung, um den technologischen Wandel zu beschleunigen.

Internationale Zusammenarbeit und Normformulierung: Teilnahme an der Überarbeitung von ISO- und AWS-Normen, um Chinas Stimme bei der Formulierung von Wolframelektrodennormen zu stärken. Förderung der internationalen gegenseitigen Anerkennung von Testergebnissen, Abbau von Handelsbarrieren und Förderung des Exportwachstums.



Reine Wolframelektroden von CTIA GROUP LTD

Anhang

A. Glossar

WP-Elektrode: Eine Wolframelektrode mit einem \geq Gehalt von 99,5 % Wolfram, die normalerweise für das Wechselstromschweißen verwendet wird, mit einem grünen Farbcode.

WIG-Schweißen: Der Prozess des Schweißens von Wolframelektroden unter dem Schutz von Inertgas.

Arbeitsfunktion: Die minimale Energiemenge, die benötigt wird, damit Elektronen von der Oberfläche eines Materials entweichen können.

Lichtbogenstabilität: Die Fähigkeit des Lichtbogens, während des Schweißprozesses kontinuierlich und gleichmäßig zu bleiben.

Pulvermetallurgie: Die Technologie der Aufbereitung von Materialien durch Pressen und Sintern von Metallpulvern.

Seltenerdoxid: wie Ceroxid, Lanthanoxid usw., Additive, die zur Verbesserung der Leistung von Wolframelektroden verwendet werden.

Sintern: Der Prozess des Erhitzens von Pulverpartikeln auf eine Temperatur unter dem Schmelzpunkt, um sie zu einem dichten Material zu verbinden.

Lichtbogenstartleistung: Wie leicht die Elektrode zu Beginn des Schweißens einen Lichtbogen auslösen kann.

Eindringtiefe: Die Schmelztiefe des Lichtbogens zum Werkstückmaterial während des Schweißens.

Thermionische Emission: Das Phänomen, bei dem ein Material bei hohen Temperaturen Elektronen abgibt.

Kornwachstum: Das Phänomen der zunehmenden Korngröße bei hohen Temperaturen, das zu einer Verschlechterung der Materialeigenschaften führen kann.

AWS A5.12: Wolframelektrodenstandard, der von der American Welding Society entwickelt wurde.

ISO 6848: Norm für Wolframelektroden, die von der Internationalen Organisation für Normung entwickelt wurde.

Grüner Tipp: Die internationale Farbkennzeichnung von reinen Wolframelektroden.

DC-Schweißen: Ein Schweißverfahren, bei dem eine Gleichstromquelle verwendet wird.

AC-Schweißen: Ein Schweißverfahren, bei dem Wechselstrom verwendet wird.

Elektrodenverbrauchsrate: Die Rate, mit der eine Elektrode während des Schweißvorgangs verloren geht.

Wärmeausdehnungskoeffizient: Die Geschwindigkeit der Dimensionsänderung eines Materials mit der Temperatur.

Elektrische Leitfähigkeit: Die Fähigkeit eines Materials, einen elektrischen Strom zu leiten.

Kriechfestigkeit: Die Fähigkeit eines Materials, einer langsamen Verformung bei hohen Temperaturen zu widerstehen.

B. Verweise

[1] Überprüfung der Leistung und Anwendung der Elektrode aus reinem Wolfram. Chinesische Wolframindustrie, 2025-01-20.

[2] Analyse des Entwicklungstrends auf dem Wolframelektrodenmarkt. Verifizierter Lieferant -

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung

Chinatungsten Online Technology Co., 2024.

[3] Forschungs- und Entwicklungsfortschritt bei der Hochleistungs-Wolframelektrode. Metallwerkstoffe und -technik, 15.11.2024.

[4] Grüne Fertigungstechnologie in der Wolframindustrie. Internationaler Wolframverband, 2024.

[5] Forschung zu WIG-Schweißwerkstoffen und -verfahren. Schweißtechnik, 10.02.2025.

[6] Globaler Marktanalysebericht für Wolframelektroden. Chinesische Wolframindustrie, 30.11.2024.

[7] Fortschritte in der Technologie zur Herstellung hocheffizienter Wolframelektroden. Metallwerkstoffe und -technik, 2024-10-10.

[8] Markt und Preistrends für Wolframressourcen. Nachrichten aus dem chinesischen Bergbau, 2024-09-20.

[9] Vor- und Nachteile der reinen Wolframelektrode. Chinesische Wolframindustrie, 2024-12-25.

[10] Fortschritte bei der Forschung zur Verbesserung von Wolframelektrodenmaterialien. Metallwerkstoffe und -technik, 2024-11-10.

[11] Anwendung von Wolframmatrix-Verbundwerkstoffen beim Schweißen. Materialwissenschaft und -technik, 20.12.2023.

[12] Methoden zur Analyse von hochreinen Wolframmaterialien. Metallwerkstoffe und -technik, 2024-10-15.

[13] ISO 6848:2015. Lichtbogenschweißen und -schneiden — Nicht abschmelzbare Wolframelektroden — Klassifizierung. Internationale Organisation für Normung, 2015.

[14] AWS A5.12/A5.12M:2009. Spezifikation für Wolfram- und oxid dispergierte Wolframelektroden zum Lichtbogenschweißen und -schneiden. Amerikanische Schweißgesellschaft, 2009.

[15] ISO 6848:2015. Lichtbogenschweißen und -schneiden — Nicht abschmelzbare Wolframelektroden — Klassifizierung. Internationale Organisation für Normung, 2015.

[16] EN 26848:1991. Schweißzusätze – Wolframelektroden für das Schutzgas-Schutzgasschweißen und für das Plasmaschweißen. Europäisches Komitee für Normung, 1991.

[17] GB/T 4190-2017. Wolfram- und Wolframlegierungselektroden für das Argon-Lichtbogenschweißen mit nicht schmelzenden Elektroden. Normungsverwaltung der Volksrepublik China, 2017.

[18] JIS Z 3233:2017. Wolframelektroden für das Schutzgas-Schutzgasschweißen. Japanisches Komitee für Industrienormen, 2017.

Erklärung zum Urheberrecht und zur gesetzlichen Haftung