

Enciclopedia de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

Líder mundial en fabricación inteligente para las industrias de tungsteno, molibdeno y tierras raras

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

INTRODUCCIÓN A CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, una subsidiaria de propiedad total con personalidad jurídica independiente establecida por CHINATUNGSTEN ONLINE, se dedica a promover el diseño y la fabricación inteligentes, integrados y flexibles de materiales de tungsteno y molibdeno en la era de Internet industrial. CHINATUNGSTEN ONLINE, fundada en 1997 con www.chinatungsten.com como punto de partida, el primer sitio web de productos de tungsteno de primer nivel de China, es la empresa de comercio electrónico pionera del país que se centra en las industrias del tungsteno, el molibdeno y las tierras raras. Aprovechando casi tres décadas de profunda experiencia en los campos de tungsteno y molibdeno, CTIA GROUP hereda las excepcionales capacidades de diseño y fabricación, los servicios superiores y la reputación comercial global de su empresa matriz, convirtiéndose en un proveedor integral de soluciones de aplicaciones en los campos de productos químicos de tungsteno, metales de tungsteno, carburos cementados, aleaciones de alta densidad, molibdeno y aleaciones de molibdeno.

Durante los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha establecido más de 200 sitios web profesionales multilingües de tungsteno y molibdeno que cubren más de 20 idiomas, con más de un millón de páginas de noticias, precios y análisis de mercado relacionados con el tungsteno, el molibdeno y las tierras raras. Desde 2013, su cuenta oficial de WeChat "CHINATUNGSTEN ONLINE" ha publicado más de 40.000 piezas de información, sirviendo a casi 100.000 seguidores y proporcionando información gratuita diariamente a cientos de miles de profesionales de la industria en todo el mundo. Con visitas acumuladas a su grupo de sitios web y cuentas oficiales que llegan miles de millones de veces, se ha convertido en un centro de información global y autorizado reconocido para las industrias del tungsteno, el molibdeno y las tierras raras, proporcionando noticias multilingües las 24 horas del día, los 7 días de la semana, rendimiento de productos, precios de mercado y servicios de tendencias del mercado.

Sobre la base de la tecnología y la experiencia de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP se enfoca en satisfacer las necesidades personalizadas de los clientes. Utilizando tecnología de inteligencia artificial, diseña y produce en colaboración productos de tungsteno y molibdeno con composiciones químicas y propiedades físicas específicas (como tamaño de partícula, densidad, dureza, resistencia, dimensiones y tolerancias) con los clientes. Ofrece servicios integrados de proceso completo que van desde la apertura de moldes, la producción de prueba hasta el acabado, el empaque y la logística. Durante los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha brindado servicios de investigación y desarrollo, diseño y producción para más de 500,000 tipos de productos de tungsteno y molibdeno a más de 130,000 clientes en todo el mundo, sentando las bases para una fabricación personalizada, flexible e inteligente. Basándose en esta base, CTIA GROUP profundiza aún más en la fabricación inteligente y la innovación integrada de materiales de tungsteno y molibdeno en la era de Internet industrial.

El Dr. Hanns y su equipo en CTIA GROUP, basándose en sus más de 30 años de experiencia en la industria, también han escrito y publicado conocimientos, tecnología, precios de tungsteno y análisis de tendencias de mercado relacionados con el tungsteno, el molibdeno y las tierras raras, compartiéndolos libremente con la industria del tungsteno. El Dr. Han, con más de 30 años de experiencia desde la década de 1990 en el comercio electrónico y el comercio internacional de productos de tungsteno y molibdeno, así como en el diseño y fabricación de carburos cementados y aleaciones de alta densidad, es un reconocido experto en productos de tungsteno y molibdeno tanto a nivel nacional como internacional. Siguiendo el principio de proporcionar información profesional y de alta calidad a la industria, el equipo de CTIA GROUP escribe continuamente trabajos de investigación técnica, artículos e informes de la industria basados en la práctica de producción y las necesidades de los clientes del mercado, ganando elogios generalizados en la industria. Estos logros brindan un sólido apoyo para la innovación tecnológica, la promoción de productos y los intercambios de la industria de CTIA GROUP, impulsándolo a convertirse en un líder mundial en la fabricación de productos de tungsteno y molibdeno y servicios de información.



Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

4. Packaging and Supply Specifications

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

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

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Directorio

Capítulo 1 Introducción

- 1.1 Concepto y definición de electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras
- 1.2 Historia del desarrollo, antecedentes técnicos y estado de investigación de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 1.3 La importancia de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras en la industria moderna

Capítulo 2 Composición de materiales y clasificación de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

- 2.1 Características básicas de los materiales a base de tungsteno y limitaciones de los electrodos de tungsteno puro
- 2.2 Tipos y funciones de los óxidos de tierras raras
- 2.3 Estándares de clasificación para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 2.4 Modelos y especificaciones comunes de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 2.5 Análisis de la influencia de la composición del material compuesto del electrodo de tungsteno de tierras raras en el rendimiento
- 2.6 Comparación de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras con electrodos tradicionales de tungsteno de torio

Capítulo 3 Proceso y tecnología de preparación y producción de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

- 3.1 Preparación y proporción de la materia prima
- 3.2 Explicación detallada del proceso de pulvimetalurgia
- 3.3 Proceso de reducción
- 3.4 Proceso de formación y conformación
- 3.5 Proceso de sinterización
- 3.6 Tecnología de procesamiento a presión
- 3.7 Tratamiento de superficies y tecnología de recubrimiento
- 3.8 Control de parámetros clave en el proceso de preparación
- 3.9 Optimización de procesos y análisis de defectos comunes
- 3.10 Tecnología de preparación ecológica
- 3.11 Diagrama de flujo del proceso de producción a gran escala

Capítulo 4 Características físicas, químicas y de soldadura de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

- 4.1 Propiedades mecánicas de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 4.2 Propiedades térmicas de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 4.3 Propiedades eléctricas de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 4.4 Estabilidad química y resistencia a la corrosión de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 4.5 Características de soldadura de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

- 4.6 Efectos de la adición de tierras raras en la microestructura
- 4.7 Comparación del rendimiento del electrodo de tungsteno
- 4.8 Adaptabilidad ambiental de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 4.9 Análisis de las características de fatiga y vida útil de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 4.10 Electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras MSDS de CTIA GROUP LTD

Capítulo 5 Usos y pautas de aplicación de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

- 5.1 Descripción general de los principales usos de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 5.2 Tipos de soldadura aplicables a electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 5.3 Casos de aplicación industrial de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 5.4 Parámetros recomendados del proceso de soldadura de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 5.5 Precauciones para el uso de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 5.6 Resolución de problemas comunes con electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 5.7 Aplicaciones de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras en campos emergentes
- 5.8 Análisis de beneficios económicos de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Capítulo 6 Equipo de producción de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

- 6.1 Equipo de procesamiento de materias primas para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 6.2 Equipos de reducción y dopaje para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 6.3 Equipos de formación para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 6.4 Equipos de sinterización para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 6.5 Equipo de procesamiento para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 6.6 Equipo de tratamiento de superficies para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 6.7 Equipo auxiliar para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 6.8 Pautas de selección y mantenimiento para equipos compuestos de electrodos de tungsteno de tierras raras
- 6.9 Diseño e integración de líneas de producción automáticas para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 6.10 Equipo de seguridad y medidas de protección para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Capítulo 7 Normas nacionales y extranjeras para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

- 7.1 Normas nacionales para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 7.2 Normas internacionales para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 7.3 Estándares de composición de materiales para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 7.4 Estándares de prueba de rendimiento para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras
- 7.5 Normas de protección y seguridad del medio ambiente para electrodos compuestos de tungsteno

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

de tierras raras

7.6 Sistema de certificación de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

7.7 Comparación y análisis de aplicabilidad de patrones de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

7.8 Últimas actualizaciones estándar para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Capítulo 8 Pruebas e inspección de calidad de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

8.1 Métodos de prueba de rendimiento para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

8.2 Pruebas de propiedades mecánicas de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

8.3 Análisis de microestructura de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

8.4 Detección de composición química de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

8.5 Tecnología de detección de defectos de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

8.6 Evaluación de la vida útil y análisis de confiabilidad de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

8.7 Puntos clave del control de calidad de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Capítulo 9 Consideraciones ambientales y de seguridad de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

9.1 Especificaciones de seguridad operacional

9.2 Riesgos para la salud y medidas de protección

9.3 Evaluación de impacto ambiental

9.4 Tecnología de reciclaje y reutilización

9.5 Requisitos de almacenamiento y transporte

9.6 Principios de fabricación ecológica

9.7 Cumplimiento normativo

Capítulo 10 Tendencias futuras de desarrollo de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

10.1 Nueva combinación de tierras raras y tecnología de dopaje

10.2 Dopaje de nano óxidos de tierras raras y fortalecimiento de la difusión

10.3 Integración de la tecnología de optimización de parámetros de soldadura inteligente AI

10.4 Fabricación ecológica y desarrollo sostenible

10.5 Perspectivas de aplicación en la industria aeroespacial, nuclear, de fabricación médica y otros campos

Apéndice

Glosario

Referencias

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Capítulo 1 Introducción

1.1 Concepto y definición de electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras

El electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras es un tipo de tungsteno de alta pureza como matriz, dopado con una variedad de óxidos de tierras raras (como óxido de lantano La_2O_3 , óxido de cerio CeO_2 , óxido de itrio Y_2O_3 , zirconia ZrO_2 , etc.) materiales de electrodos avanzados que optimizan el rendimiento. Su núcleo radica en el diseño "compuesto", es decir, a través de la sinergia de múltiples óxidos de tierras raras, el electrodo mejora significativamente la capacidad de emisión de electrones, la estabilidad del arco, la resistencia a altas temperaturas y la vida útil del electrodo. En comparación con los electrodos de tungsteno puro tradicionales o los electrodos de tungsteno de tierras raras individuales, los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras exhiben un mejor rendimiento integral en aplicaciones como soldadura, corte y fusión, lo que los convierte en materiales clave indispensables para la industria moderna.

A partir de la definición técnica, el electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras se refiere a un material de electrodo sin fusión preparado por pulvimetalurgia, dopaje químico o pulverización de solución dopando 1% ~ 4% de fracción de masa de óxidos de tierras raras en una matriz de tungsteno. Se utiliza principalmente en soldadura blindada con gas inerte (soldadura TIG), soldadura por plasma, corte, pulverización térmica y fuentes de luz eléctrica. Según el tipo y la cantidad de óxidos de tierras raras, se pueden dividir en compuestos binarios (como electrodos de cerio-lantano-tungsteno), compuestos ternarios (como electrodos de cerio-lantano-itrio-tungsteno) y electrodos multicompuestos. Los estándares internacionales (como ISO 6848: 2015) lo clasifican como un electrodo sin fusión, y los modelos comunes incluyen la serie WL (tungsteno lantano), la serie WC (tungsteno de cerio), la serie WY (tungsteno de itrio) y modelos multicompuestos personalizados.

El desarrollo de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se deriva de las limitaciones de los electrodos de tungsteno tradicionales. Los electrodos de tungsteno puro tienen un punto de fusión de hasta 3410 °C y una excelente resistencia a la corrosión, pero su trabajo de escape de electrones es alto (alrededor de 4,5 eV), lo que resulta en arcos difíciles, arcos inestables y pérdida rápida de electrodos. Los primeros electrodos de tungsteno de torio (que contienen ThO_2) mejoraron el rendimiento al reducir la función operativa, pero la radiactividad del torio representaba una amenaza para el medio ambiente y la salud del operador. Al introducir óxidos de tierras raras no radiactivos, el electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras no solo conserva el alto punto de fusión y la estabilidad del tungsteno, sino que también reduce significativamente el trabajo de escape de electrones (hasta 2.0 ~ 2.5eV), mejora la estabilidad del arco (el índice de estabilidad puede alcanzar más del 95%) y extiende la vida útil (23 veces más que el electrodo de tungsteno puro).

En términos de microestructura, la matriz de tungsteno del electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras se distribuye con finas partículas de óxido de tierras raras, que mejoran la resistencia mecánica y la tenacidad del material al inhibir el crecimiento del grano y refinar la estructura del grano. Por ejemplo, el óxido de cerio reduce la función de trabajo y promueve la emisión de electrones; El óxido de lantano mejora la estabilidad del arco; el óxido de itrio mejora las propiedades mecánicas a alta temperatura; La zirconia mejora las propiedades antioxidantes. El

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

efecto sinérgico de estos elementos de tierras raras permite que el electrodo permanezca estable a altas densidades de corriente ($>100 \text{ A/mm}^2$) optimizando las propiedades del límite del grano, reduciendo la volatilización a alta temperatura e inhibiendo la propagación de grietas.

En términos de proceso de preparación, los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se pueden preparar mediante mezcla mecánica o dopaje químico. El método de mezcla mecánica mezcla físicamente polvo de tungsteno con polvo de óxido de tierras raras, que es simple pero ligeramente menos uniforme. Los métodos de dopaje químico logran el dopaje a nivel atómico a través de la tecnología de pulverización de solución o coprecipitación para una mejor uniformidad. La selección del proceso afecta la uniformidad de la distribución de tierras raras y la estabilidad de las propiedades del electrodo, como el dopaje químico que puede controlar el tamaño de las partículas de óxido de tierras raras a nivel nanométrico, mejorando significativamente la durabilidad del electrodo.

El concepto de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras también cubre su expansión en campos emergentes. Por ejemplo, se combina con carburo de tungsteno o nitruro de tungsteno para formar materiales compuestos adecuados para electrodos de baterías de nueva energía, o se utiliza como portadores de catalizadores para reacciones electroquímicas. Estas aplicaciones ampliadas ejemplifican su versatilidad, impulsando la transición de los materiales de soldadura tradicionales a los sectores de alta tecnología. Además, sus propiedades ecológicas (no radiactivo, compatible con REACH) lo convierten en una alternativa ideal a los electrodos de tungsteno de torio, satisfaciendo la demanda mundial de materiales sostenibles.

En términos de indicadores de rendimiento, las especificaciones típicas de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras incluyen un diámetro de $1.0 \sim 10.0 \text{ mm}$, una longitud de $150 \sim 175 \text{ mm}$ y la superficie se puede pulir, oxidar o recubrir. Sus parámetros clave incluyen: potencia de escape de electrones $< 2.5 \text{ eV}$, estabilidad del arco $> 95\%$, vida útil del arco de $500 \sim 1000$ horas (dependiendo de las condiciones del proceso). Estas características lo hacen ampliamente utilizado en soldadura de alta precisión, aeroespacial y campos de nuevas energías.

1.2 Historia del desarrollo, antecedentes técnicos y estado de investigación de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

El proceso de desarrollo de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras está estrechamente relacionado con la evolución de la tecnología de soldadura, la ciencia de los materiales y los requisitos de protección del medio ambiente. A principios del siglo XX, el tungsteno se utilizaba como material de electrodo debido a su alto punto de fusión y estabilidad química, pero el rendimiento inadecuado de los electrodos de tungsteno puro limitaba su aplicación. En 1913, se introdujo el electrodo de tungsteno de torio (que contenía $1\% \sim 2\%$ de ThO_2), que mejoró significativamente el rendimiento de arco al reducir la función de trabajo y se usó ampliamente en la soldadura TIG. Sin embargo, la radiactividad del torio ha atraído gradualmente la atención, especialmente en el contexto de regulaciones ambientales cada vez más estrictas.

En 1973, el equipo de Wang Juzhen en la fábrica de bulbos de Shanghái en China desarrolló con

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

éxito un electrodo de tungsteno de cerio (que contiene CeO_2), que fue un avance pionero en electrodos de tungsteno de tierras raras. Los electrodos de cerio-tungsteno reemplazaron rápidamente algunas aplicaciones de electrodos de torio-tungsteno con no radiactividad, baja función operativa (aprox. 2,7 eV) y excelente estabilidad del arco, y se incluyeron en la norma ISO 6848. En los años 80 del siglo XX, con el avance de la tecnología de pulvimetalurgia, comenzaron a aparecer electrodos binarios de tungsteno de tierras raras compuestos (como combinaciones de cerio y lantano). La Fábrica de Material de Molibdeno de Tungsteno de Beijing y otras instituciones han logrado una distribución uniforme de los elementos de tierras raras y han mejorado el rendimiento integral de los electrodos mediante la optimización del proceso de dopaje.

En los años 90, el desarrollo de electrodos de tungsteno de tierras raras compuestos ternarios (como combinaciones de cerio, lantano, lantano e itrio) se convirtió en un tema candente. Los antecedentes técnicos incluyen la amplia aplicación de la microscopía electrónica de barrido (SEM), la difracción de rayos X (XRD) y la microscopía electrónica de transmisión (TEM) para ayudar a revelar la distribución microscópica de óxidos de tierras raras en sustratos de tungsteno. Por ejemplo, los estudios han demostrado que las partículas de óxido de tierras raras pueden formar una segunda fase estable, inhibir el engrosamiento de los granos de tungsteno a altas temperaturas y prolongar la vida útil de los electrodos. Durante el mismo período, el proyecto "Tecnología de industrialización de electrodos de tungsteno de tierras raras multicompuestos" apoyado por el plan 863 de China promovió la producción a gran escala, que abarca la reducción de hidrógeno, el prensado isostático en frío y la sinterización al vacío.

En el siglo XXI, los campos de aplicación de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se han expandido desde la soldadura tradicional hasta el corte por plasma, la pulverización térmica y las baterías de nueva energía. Después del año 2000, la demanda mundial de materiales ecológicos impulsó la popularidad de los electrodos radiactivos. Los antecedentes técnicos incluyen la introducción de nanotecnología, el uso de nanopulvos de tierras raras para mejorar la uniformidad del dopaje y el tamaño de partícula se controla en el rango de 50 ~ 100 nm. Además, los equipos de producción automatizados (por ejemplo, secadores dopados por pulverización, hornos de sinterización por inducción de frecuencia media) mejoran significativamente el rendimiento y la consistencia.

En la década de 2010, la investigación se centró en la optimización del rendimiento y el control de defectos. Por ejemplo, el mecanismo de estratificación de sinterización reveló la influencia del gradiente de temperatura en la distribución de tierras raras y optimizó los parámetros de sinterización (1450 ~ 1800 °C, vacío $<10^{-3}$ Pa). Los estándares internacionales como AWS A5.12 / A5.12M regulan aún más la composición, las pruebas de rendimiento y los requisitos de control de calidad de los electrodos. Durante el mismo período, la estabilidad de la cadena de suministro de tierras raras se convirtió en una preocupación, y el informe Global Critical Minerals Outlook destacó la importancia estratégica de los recursos de tierras raras.

A partir de 2025, el estado de investigación de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras muestra una tendencia multidisciplinaria. Los puntos de acceso incluyen:

[Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

Aplicaciones emergentes: En baterías de iones de litio, celdas de combustible y equipos fotovoltaicos, los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se utilizan como cátodos o materiales de recubrimiento conductores para mejorar la densidad de energía y el ciclo de vida.

Fabricación ecológica: El proceso de extracción de tierras raras de los residuos de carbón reduce la dependencia de los minerales vírgenes, alineándose con el concepto de economía circular.

Producción inteligente: La optimización de procesos asistida por IA y la tecnología de impresión 3D se utilizan para la producción de electrodos personalizados, mejorando la precisión de fabricación de estructuras complejas.

Pruebas de rendimiento: La prueba de vida útil del arco (> 1000 horas), el experimento de envejecimiento acelerado y el análisis de microestructura (SEM / TEM) proporcionan datos confiables para la evaluación del rendimiento.

Los desafíos incluyen la escasez de recursos de tierras raras, los altos costos de procesamiento y las barreras comerciales internacionales, pero las oportunidades radican en el apoyo político (por ejemplo, las regulaciones de gestión de tierras raras de China) y la creciente demanda del mercado. Según el pronóstico del mercado global, el consumo anual de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras ha superado las 1,600 toneladas y se espera que la tasa de crecimiento anual promedio alcance el 5.8% en 2025 ~ 2030.

1.3 La importancia de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras en la industria moderna

La importancia de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras en la industria moderna se debe a su excelente rendimiento, aplicaciones multicampo y contribución a la fabricación ecológica. Como alternativa ecológica a los electrodos de tungsteno de torio, elimina los riesgos radiactivos y cumple con las regulaciones ambientales globales (por ejemplo, REACH, RoHS), promoviendo la sostenibilidad en la industria de la soldadura.

En el campo de la soldadura, los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras son los materiales centrales de la soldadura TIG y la soldadura por plasma. Su baja función operativa y su alta estabilidad del arco (>95%) garantizan soldaduras de alta calidad y se utilizan ampliamente en la industria aeroespacial (soldadura de titanio y acero inoxidable), fabricación de automóviles (soldadura ligera de aleación de aluminio) y energía nuclear (soldadura de tuberías de reactores). Por ejemplo, en el sector de la aviación, los electrodos admiten la soldadura sin defectos de componentes complejos, cumpliendo con estrictos estándares de seguridad; En la industria automotriz, ayuda a la soldadura de precisión de componentes de baterías de vehículos eléctricos para mejorar la eficiencia de producción.

En el campo de las nuevas energías, los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se utilizan como materiales de electrodos o recubrimientos conductores para baterías de iones de litio, celdas de combustible y equipos fotovoltaicos. Por ejemplo, en la producción de baterías de litio, su alta conductividad y resistencia a la corrosión mejoran el ciclo de vida de los electrodos (>5000 ciclos). En la industria fotovoltaica, los electrodos de plasma para el corte de obleas de silicio mejoran la precisión y durabilidad del corte.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

En la industria electrónica, los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se utilizan en cátodos y filamentos en dispositivos semiconductores, proporcionando una emisión de electrones estable y respaldando los requisitos de alta precisión de la fabricación de chips. Además, en el campo de la pulverización térmica, su resistencia a altas temperaturas ($>3000\text{ }^{\circ}\text{C}$) y resistencia a la oxidación se utilizan para rociar recubrimientos resistentes al desgaste y prolongar la vida útil de los componentes mecánicos.

En los campos militar y médico, los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras admiten soldaduras de alta precisión, como la fabricación de proyectiles perforantes e implantes médicos. Su alto punto de fusión y estabilidad química garantizan la fiabilidad en condiciones extremas.

En términos de beneficios económicos, los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras ahorran significativamente los costos de producción al extender la vida útil (500 ~ 1000 horas) y reducir los costos de mantenimiento. Por ejemplo, en la soldadura TIG, el tiempo de combustión del arco es más de 2 veces más largo que el de los electrodos de tungsteno puro, lo que reduce la frecuencia de reemplazo. El análisis del mercado global muestra que su demanda en la fabricación de alta gama ha impulsado el crecimiento del mercado a una tasa anual promedio de más del 5%.

Estratégicamente, la escasez de recursos de tierras raras y la insustituibilidad de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras los convierten en materiales clave y atraen la atención de las políticas. La Ley de Materias Primas Críticas de la UE y el Reglamento de Gestión de Tierras Raras de China enfatizan la protección de las cadenas de suministro de tierras raras, promoviendo la investigación y el desarrollo de tecnologías de reciclaje y procesos alternativos. Para 2025, se espera que el tamaño del mercado de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras supere los \$ 1 mil millones, convirtiéndose en un pilar importante que respalda la industria de alta tecnología.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal



Capítulo 2 Composición de materiales y clasificación de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

2.1 Características básicas de los materiales a base de tungsteno y limitaciones de los electrodos de tungsteno puro

Los materiales a base de tungsteno se utilizan ampliamente en la fabricación de electrodos debido a sus propiedades físicas y químicas únicas, convirtiéndose en la matriz central de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras. El tungsteno es un metal refractario con un punto de fusión extremadamente alto, excelente estabilidad térmica y química, lo que lo hace ideal para electrodos que no se funden. Sus propiedades esenciales incluyen alta densidad, buena conductividad y muy baja presión de vapor, lo que lo hace excelente en entornos de soldadura de alta temperatura y alta corriente.

El tungsteno tiene un punto de fusión de 3410 °C, el más alto de cualquier metal, lo que garantiza que el electrodo no se derrita ni se deforme significativamente a temperaturas de arco. El tungsteno tiene una densidad de 19,25 g/cm³, lo que le confiere una excelente resistencia mecánica y resistencia al desgaste. Además, el tungsteno tiene una conductividad eléctrica de aproximadamente el 30% del cobre, que es más baja que los materiales conductores comunes pero suficiente para soportar la soldadura de alta corriente. Su estabilidad química se manifiesta como inercia a ambientes ácidos, álcalis y oxidantes a temperatura ambiente, lo que lo hace adecuado para su uso

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

en entornos industriales exigentes. El tungsteno tiene un bajo coeficiente de expansión térmica de solo $4,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, lo que reduce el riesgo de agrietamiento por estrés térmico a altas temperaturas.

Sin embargo, los electrodos de tungsteno puro tienen limitaciones significativas en aplicaciones prácticas. Primero, el tungsteno puro tiene un alto trabajo de escape de electrones, lo que resulta en un rendimiento de arco deficiente. En la soldadura TIG, los electrodos de tungsteno puro requieren voltajes más altos para iniciar arcos, lo que aumenta el consumo de energía y puede provocar inestabilidad del arco. En segundo lugar, la estabilidad del arco del electrodo de tungsteno puro es insuficiente, especialmente en soldadura de alta corriente o CA, el arco es fácil de desviar, lo que afecta la calidad de la soldadura. Además, el engrosamiento del grano de los electrodos de tungsteno puro a altas temperaturas puede provocar fragilidad del material y acortar su vida útil. En entornos de alta temperatura, también pueden formarse óxidos en la superficie del tungsteno, lo que provoca la contaminación de los electrodos y reduce el rendimiento.

Otra limitación de los electrodos de tungsteno puro es su menor capacidad de emisión de electrones. Durante el proceso de soldadura, la eficiencia de la emisión de electrones afecta directamente la estabilidad y la concentración de energía del arco. La alta función de trabajo de los electrodos de tungsteno puro dificulta el mantenimiento de un arco estable en condiciones de baja corriente, lo que limita su aplicación en la soldadura de precisión. Además, la resistencia al desgaste y al desgaste de los electrodos de tungsteno puro son limitadas, especialmente en la soldadura de alta intensidad a largo plazo, donde la punta del electrodo es propensa a la ablación y debe reemplazarse con frecuencia, lo que aumenta los costos de producción.

Estas limitaciones han llevado a los investigadores a explorar la optimización del rendimiento de los electrodos de tungsteno a través de modificaciones de dopaje. En los primeros días, los óxidos de torio se usaban como dopantes para mejorar la emisión de electrones, pero sus problemas de radiactividad impulsaron el desarrollo de óxidos de tierras raras no tóxicos. Los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras superan las deficiencias de los electrodos de tungsteno puro mediante la introducción de una variedad de óxidos de tierras raras, convirtiéndose en la opción principal de la tecnología de soldadura moderna.

2.2 Tipos y funciones de los óxidos de tierras raras

Los óxidos de tierras raras son los aditivos clave para los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, y su tipo y acción determinan directamente el grado de optimización del rendimiento del electrodo. Los óxidos de tierras raras de uso común incluyen óxido de lantano (La_2O_3), óxido de cerio (CeO_2), óxido de itrio (Y_2O_3) y circonio (ZrO_2), que reducen la función de trabajo, mejoran la microestructura y mejoran la estabilidad a altas temperaturas. Mejorar significativamente el rendimiento de los electrodos.

El óxido de lantano (La_2O_3) es conocido por sus excelentes capacidades de emisión de electrones y estabilidad de arco. La adición de óxido de lantano reduce el trabajo de escape de electrones de la matriz de tungsteno, de modo que el electrodo puede desencadenar un arco estable a un voltaje más bajo. Esto es particularmente importante para la soldadura de CA y de precisión, ya que reduce el

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

tiempo de inicio del arco y mejora la consistencia de la soldadura. El óxido de lantano también inhibe el crecimiento de granos de tungsteno a altas temperaturas al formar partículas estables de segunda fase, lo que mejora la resistencia a la fragilización de los electrodos. Además, el óxido de lantano tiene una baja tasa de evaporación a altas temperaturas, lo que reduce la pérdida de material del electrodo.

El óxido de cerio (CeO_2) es otro óxido de tierras raras ampliamente utilizado conocido por su baja función de trabajo y alta eficiencia de emisión de electrones. La adición de óxido de cerio permite que el electrodo se arquee rápidamente tanto en soldadura de CC como de CA, especialmente adecuado para soldadura de precisión de baja corriente. Las partículas de óxido de cerio se distribuyen uniformemente en la matriz de tungsteno, lo que mejora la conductividad eléctrica y térmica del electrodo, al tiempo que reduce el gradiente de temperatura en el área de concentración del arco y reduce la pérdida por quemado. Además, el óxido de cerio contribuye significativamente a la capacidad antiincrustante de la superficie del electrodo, reduciendo la interferencia de impurezas en el arco durante el proceso de soldadura.

El óxido de itrio (Y_2O_3) mejora principalmente las propiedades mecánicas a alta temperatura y la resistencia a la oxidación de los electrodos. El óxido de itrio es extremadamente estable térmicamente y puede mantener la integridad estructural en entornos de arco de alta temperatura y reducir la ablación en la punta del electrodo. La adición de óxido de itrio también refina la estructura del grano de tungsteno, mejorando la tenacidad y la resistencia a la fatiga del electrodo. Esto hace que los electrodos que contienen itrio sean especialmente adecuados para la soldadura continua de alta corriente y a largo plazo, como en la fabricación de componentes aeroespaciales.

El zirconio (ZrO_2) se utiliza en electrodos compuestos debido a su excelente resistencia a la oxidación y la corrosión. El zirconio forma una capa protectora estable a altas temperaturas, evitando que la matriz de tungsteno reaccione con el oxígeno u otros gases reactivos, lo que prolonga la vida útil del electrodo. El zirconio también mejora la resistencia al choque térmico del electrodo, lo que lo hace adecuado para su uso en entornos complejos como el corte por plasma. Además, la adición de zirconio optimiza la estabilidad del arco, especialmente en la soldadura de alta frecuencia.

Otros óxidos de tierras raras, como el óxido de neodimio (Nd_2O_3) y el óxido de samario (Sm_2O_3), también se exploran en aplicaciones específicas. Estos óxidos proporcionan una optimización adicional del rendimiento al ajustar la microestructura del electrodo y las características de emisión de electrones. Por ejemplo, el óxido de neodimio reduce aún más la función de trabajo, mientras que el óxido de samario mejora la resistencia del electrodo a la oxidación a alta temperatura.

El mecanismo de acción de los óxidos de tierras raras radica en su interacción con la matriz de tungsteno. A altas temperaturas, las partículas de óxido de tierras raras migran a la superficie del electrodo, formando un punto de emisión con baja función de trabajo y promoviendo el escape de electrones. Al mismo tiempo, estas partículas inhiben el deslizamiento del límite de grano a través del efecto de fijación, mejorando la resistencia a altas temperaturas del material. Por ejemplo, la combinación de óxido de cerio y óxido de lantano equilibra el rendimiento de la formación de arcos

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

y la vida útil, mientras que la combinación de óxido de itrio y circonio optimiza la estabilidad a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión.

2.3 Normas de clasificación para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

La clasificación de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se basa en el tipo, la cantidad y las características de aplicación de los óxidos de tierras raras, con el objetivo de satisfacer diferentes necesidades de soldadura y estándares industriales. Los estándares de clasificación incluyen principalmente los siguientes aspectos:

Según el tipo de óxido de tierras raras: Según el tipo de óxido de tierras raras agregado, el electrodo se puede dividir en un solo electrodo de tierras raras (como tungsteno de cerio, tungsteno de lantano) y electrodo compuesto de tierras raras. Los electrodos compuestos de tierras raras se subdividen a su vez en compuestos binarios (como los electrodos de cerio-lantano-tungsteno), compuestos ternarios (como los electrodos de cerio-lantano-itrio-tungsteno) y multicompuestos (que contienen más de tres óxidos de tierras raras). El rendimiento de un solo electrodo de tierras raras es relativamente simple, mientras que el electrodo compuesto logra una optimización de rendimiento más completa a través de la sinergia de elementos de tierras raras.

Según el contenido de tierras raras: El contenido total de óxidos de tierras raras suele estar entre 1% ~ 4%, y se divide en electrodos de tierras raras bajas (1% ~ 2%), tierras raras medias (2% ~ 3%) y tierras raras altas (3% ~ 4%) según diferentes contenidos. Los electrodos de tierras raras bajas son adecuados para la soldadura de precisión de baja corriente, mientras que los electrodos de tierras raras altas se utilizan para la soldadura de alta corriente y alta resistencia.

Por aplicación: Según la aplicación principal, los electrodos se pueden dividir en soldadura (como soldadura TIG, soldadura por plasma), corte (corte por plasma), pulverización (pulverización térmica) y fuente de luz eléctrica (filamento, cátodo). Por ejemplo, el electrodo para soldar enfatiza la estabilidad del arco y el electrodo para cortar se enfoca en la resistencia a altas temperaturas.

De acuerdo con las normas internacionales: De acuerdo con las normas ISO 6848:2015 y AWS A5.12, los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se clasifican según el tipo y el rendimiento de las tierras raras. Por ejemplo, modelos como WL20 (que contiene un 2% de óxido de lantano) y WC20 (que contiene un 2% de óxido de cerio) especifican el tipo y el contenido de tierras raras, mientras que los electrodos compuestos pueden representarse mediante números personalizados, como WLaCeY (compuesto ternario).

Según el proceso de procesamiento: según el método de preparación, se puede dividir en electrodo mixto mecánico y electrodo dopado químico. El costo del electrodo del método híbrido mecánico es bajo, pero la uniformidad es ligeramente peor. Los electrodos dopados químicamente ofrecen una mayor uniformidad de distribución de tierras raras y son adecuados para aplicaciones de alto rendimiento.

Los criterios de clasificación se desarrollan teniendo en cuenta el equilibrio entre la optimización del rendimiento y los costes de producción. Por ejemplo, los electrodos compuestos binarios logran

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

un buen equilibrio entre rendimiento y costo, y se utilizan ampliamente en soldadura industrial; Los electrodos ternarios o multicompuestos están diseñados para entornos exigentes y de alta precisión, como la energía aeroespacial y nuclear.

2.4 Modelos y especificaciones comunes de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Los modelos y especificaciones de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se formulan de acuerdo con los estándares internacionales y la demanda del mercado, y los modelos comunes incluyen las series WL, WC, WY y modelos compuestos personalizados. Los siguientes son los principales modelos y sus especificaciones:

Serie WL ([electrodo de tungsteno de lantano](#)): contiene óxido de lantano, generalmente expresado como WL10 (1% La_2O_3), WL15 (1,5% La_2O_3), WL20 (2% La_2O_3). Es adecuado para soldadura TIG y soldadura por plasma, con un excelente rendimiento de iniciación de arco y estabilidad de arco, con un rango de diámetro de 1.0 ~ 10.0 mm y una longitud de 150 ~ 175 mm.

Serie WC ([electrodo de cerio y tungsteno](#)): Contiene óxido de cerio, el modelo común es WC20 (2% de CeO_2). Es adecuado para soldadura de precisión de baja corriente y soldadura de CA, con un diámetro de 1.0 ~ 6.4 mm y una longitud de 150 mm, y la superficie generalmente se pule para reducir la contaminación.

Serie WY ([electrodo de itrio y tungsteno](#)): contiene óxido de itrio, modelo como WY20 (2% Y_2O_3), utilizado principalmente para soldadura de CC de alta corriente, excelente resistencia a altas temperaturas, diámetro 2.0 ~ 8.0 mm, longitud 150 ~ 175 mm.

Modelos compuestos: como WLaCe (que contiene óxido de lantano y óxido de cerio), WLaCeY (que contiene óxido de lantano, óxido de cerio y óxido de itrio). Estos modelos son productos personalizados, el contenido de tierras raras se ajusta de acuerdo con las necesidades de la aplicación, generalmente entre 1.5% ~ 3.5%, y el diámetro y la longitud se pueden personalizar de acuerdo con los requisitos del cliente.

Especificaciones: Los diámetros de los electrodos varían de 0,5 mm (micro soldadura) a 12,0 mm (soldadura de la industria pesada), y las longitudes incluyen 150 mm, 175 mm y longitudes personalizadas. El tratamiento de la superficie incluye pulido, oxidación y recubrimiento, y la forma final puede ser puntiaguda, plana o esférica para satisfacer las necesidades de diferentes procesos de soldadura.

La elección del modelo depende del tipo de soldadura, el rango de corriente y las propiedades del material. Por ejemplo, WL20 es adecuado para la soldadura de CA de aleaciones de aluminio, WC20 se usa para soldadura de baja corriente de acero inoxidable y WLaCeY se usa para soldadura de alta carga de acero de alta resistencia. La diversidad de especificaciones garantiza la amplia aplicabilidad del electrodo en la industria aeroespacial, la fabricación de automóviles, la energía nuclear y más.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

4. Packaging and Supply Specifications

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

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

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

2.5 Análisis de la influencia de la composición del material del electrodo de tungsteno de tierras raras compuesto en el rendimiento

El rendimiento de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se ve afectado por la composición del material, incluido el tipo, el contenido, la uniformidad de distribución de los óxidos de tierras raras y su interacción con la matriz de tungsteno. A continuación, se analiza su impacto desde múltiples perspectivas:

Tipos de óxidos de tierras raras: Los diferentes óxidos de tierras raras contribuyen de manera diferente al rendimiento del electrodo. El óxido de lantano reduce principalmente la función de trabajo y mejora la estabilidad del arco. el óxido de cerio mejora la iniciación del arco y la capacidad anticontaminación; El óxido de itrio mejora la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a las quemaduras; La zirconia mejora las propiedades antioxidantes. Los compuestos binarios o ternarios optimizan el rendimiento combinado a través de la acción sinérgica, como los electrodos WLaCe que combinan funciones operativas bajas y características de larga duración.

Contenido de tierras raras: El aumento del contenido de óxido de tierras raras generalmente reduce la función de trabajo y mejora la eficiencia de emisión de electrones, pero un contenido demasiado alto (>4%) puede conducir a una disminución de la resistencia de la matriz y defectos de sinterización. El bajo contenido de 1% ~ 2% es adecuado para soldadura de precisión, 2% ~ 3% es el rango general y 3% ~ 4% se utiliza para soldadura de alta carga. La optimización del contenido requiere equilibrar el rendimiento y el costo.

Uniformidad de distribución: La distribución uniforme de los óxidos de tierras raras es crucial para el rendimiento. El método de dopaje químico puede lograr una distribución de partículas a nanoescala (< 100 nm) y mejorar la conductividad y la estabilidad del electrodo. La mezcla mecánica puede provocar la aglomeración de partículas, lo que reduce la consistencia del rendimiento. El análisis SEM mostró que las partículas de tierras raras distribuidas uniformemente podrían clavar eficazmente los límites de grano y mejorar la capacidad de resistir la fluencia a alta temperatura.

Microestructura: la adición de óxidos de tierras raras refina los granos de tungsteno y el tamaño promedio del grano se reduce de 20 ~ 50 μm a 5 ~ 10 μm de tungsteno puro, lo que mejora la tenacidad y la resistencia a la fatiga. Las partículas de tierras raras también forman una segunda fase estable, lo que reduce el deslizamiento del límite del grano a altas temperaturas y prolonga la vida útil del electrodo.

Efecto sinérgico: Los electrodos multicompuestos optimizan el rendimiento a través de la acción sinérgica de los elementos de tierras raras. Por ejemplo, la combinación de óxido de cerio y óxido de lantano reduce el voltaje del arco y prolonga la vida útil; La combinación de óxido de itrio y zirconio mejora la estabilidad a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión. Esta sinergia hace que el electrodo compuesto sobresalga en condiciones de funcionamiento complejas.

Adaptabilidad ambiental: La estabilidad química de los óxidos de tierras raras mejora la resistencia del electrodo a la contaminación, reduciendo el impacto de óxidos o impurezas durante la soldadura.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Los electrodos que contienen zirconio exhiben una mayor durabilidad en ambientes con alta humedad o gases corrosivos.

En resumen, el diseño de la composición del material debe optimizarse de acuerdo con los requisitos de la aplicación. El sector aeroespacial puede priorizar los electrodos compuestos ternarios para garantizar el rendimiento a alta temperatura, mientras que la industria electrónica se inclina por los electrodos de cerio-tungsteno con bajo contenido de tierras raras para la soldadura de precisión.

2.6 Comparación de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras con electrodos tradicionales de tungsteno de torio

Existen diferencias significativas entre los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras y los electrodos tradicionales de tungsteno de torio en términos de rendimiento, respeto al medio ambiente y rango de aplicación. La siguiente es una comparación desde varios aspectos:

Rendimiento de emisión de electrones: El electrodo de tungsteno de torio (que contiene 1% ~ 2% de ThO_2) proporciona un buen rendimiento de iniciación de arco a través de la baja función de trabajo del torio, pero el electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras reduce aún más la función de trabajo a través del efecto sinérgico de múltiples óxidos de tierras raras, con un voltaje de arco más bajo y una mayor estabilidad del arco. Por ejemplo, el tiempo de inicio del arco del electrodo WLaCeY en la soldadura de CA es aproximadamente un 20% más corto que el del electrodo de tungsteno de torio.

Estabilidad del arco: La estabilidad del arco de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras es mejor que la de los electrodos de tungsteno de torio, especialmente en condiciones de alta corriente y CA. La distribución uniforme de los óxidos de tierras raras reduce la deriva del arco y garantiza la calidad de la soldadura. El electrodo de tungsteno de torio puede causar inestabilidad del arco debido a la volatilización del torio durante la soldadura a largo plazo.

Vida útil: La vida útil de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras es significativamente más larga que la de los electrodos de tungsteno de torio. La baja tasa de evaporación y la resistencia al quemado de los óxidos de tierras raras permiten que el electrodo se use continuamente durante 500 ~ 1000 horas en soldadura de alta carga, mientras que los electrodos de tungsteno de torio suelen durar 300 ~ 500 horas. La vida útil prolongada reduce la frecuencia de reemplazos y los costos de producción.

Protección y seguridad del medio ambiente: Los electrodos de tungsteno de torio contienen torio radiactivo, que puede liberar partículas α durante el procesamiento y el uso, lo que representa riesgos para la salud de los operadores, y la eliminación de desechos debe cumplir con estrictos estándares de seguridad radiológica. Los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras no son radiactivos y cumplen con las regulaciones REACH y RoHS, lo que reduce la contaminación ambiental y los riesgos para la salud, lo que los convierte en la primera opción para la fabricación ecológica.

Rendimiento a altas temperaturas: Los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras exhiben

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

una mejor estabilidad a altas temperaturas y resistencia al quemado a través del refinamiento del grano y la resistencia a la oxidación de los óxidos de tierras raras. Los electrodos de tungsteno de torio son propensos a la volatilización del torio a altas temperaturas, lo que resulta en una mayor pérdida de la punta del electrodo.

Aplicaciones: Los diversos modelos de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, como WL, WC y WLaCeY, los hacen adecuados para una gama más amplia de tipos y materiales de soldadura, incluidas aleaciones de aluminio, aceros inoxidable y superaleaciones. Aunque el electrodo de tungsteno de torio es adecuado para una variedad de soldaduras, su alcance de uso ha disminuido gradualmente debido a las restricciones ambientales.

Costo y disponibilidad: El costo de la materia prima de los electrodos de tungsteno de torio es menor, pero los costos de procesamiento y eliminación de desechos son más altos. Los recursos de tierras raras de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras son caros, pero el costo de producción se reduce al optimizar el proceso (como el dopaje químico), y el avance de la tecnología de recuperación de tierras raras mejora la disponibilidad de recursos.

En resumen, los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras son ampliamente mejores que los electrodos de tungsteno de torio en términos de rendimiento, protección del medio ambiente y flexibilidad de aplicación, y son los materiales preferidos para la tecnología de soldadura moderna. Sus propiedades no radiactivas y sus características de larga vida han promovido su amplia aplicación en el mercado global, especialmente en Europa y Estados Unidos, donde los requisitos de protección ambiental son estrictos.



Capítulo 3 Proceso y tecnología de preparación y producción de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

3.1 Preparación y proporción de la materia prima

La preparación y la proporción de la materia prima son los enlaces básicos de la preparación de electrodos de tungsteno de tierras raras compuestas, que determinan directamente la estabilidad y consistencia de las propiedades del material. Las principales materias primas de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras incluyen materiales a base de tungsteno de alta pureza y aditivos de óxido de tierras raras, y el diseño de la relación debe controlarse con precisión para optimizar la capacidad de emisión de electrones del electrodo, la estabilidad del arco y la durabilidad a altas temperaturas.

Materias primas a base de tungsteno: Los materiales a base de tungsteno generalmente están hechos de tríóxido de tungsteno (WO_3) o paratungstato de amonio (APT, $(\text{NH}_4)_2\text{WO}_4$) como ingrediente inicial. La pureza del tríóxido de tungsteno debe alcanzar más del 99,95% para reducir el impacto de las impurezas (como hierro, silicio, carbono) en el rendimiento del electrodo. El paratungstato de amonio se usa a menudo en procesos de dopaje químico debido a su solubilidad en agua y facilidad de dopaje, eliminando pasos de calcinación adicionales y acortando los ciclos de producción. El tamaño de partícula de las materias primas de tungsteno generalmente se controla de 1 a 5 micras para garantizar la uniformidad durante los procesos posteriores de reducción y

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

sinterización. Las materias primas se examinan rigurosamente para eliminar las inclusiones de óxido o las impurezas metálicas, y generalmente se confirma su pureza mediante espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF).

Aditivos de óxidos de tierras raras: Los óxidos de tierras raras se introducen en forma de nitratos, que comúnmente incluyen nitrato de lantano ($\text{La}(\text{NO}_3)_3$), nitrato de cerio ($\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$) y nitrato de itrio ($\text{Y}(\text{NO}_3)_3$).) y nitrato de circonio ($\text{Zr}(\text{NO}_3)_4$). Estos nitratos deben formularse como una solución a una concentración de 0,1 a 0,5 mol/L, con un disolvente de agua desionizada y un pH ajustado a 5,5 a 6,5 para evitar precipitaciones o reacciones químicas. Se requiere que la pureza de los elementos de tierras raras no sea inferior al 99,9% para evitar que las impurezas no metálicas como el azufre y el fósforo afecten la conductividad y estabilidad del electrodo. El contenido total de óxidos de tierras raras suele ser del 1% al 4% (fracción de masa), y la proporción específica se optimiza de acuerdo con las necesidades de la aplicación. Por ejemplo, un electrodo compuesto binario puede usar óxido de cerio y óxido de lantano 1: 1, y un electrodo compuesto ternario puede ser óxido de cerio: óxido de lantano: óxido de itrio = 1: 1: 3 para equilibrar el rendimiento del arco y la estabilidad a altas temperaturas.

Diseño proporcional: El diseño de la relación debe considerar exhaustivamente el trabajo de escape de electrones, la estabilidad del arco y las propiedades mecánicas. El bajo contenido de tierras raras (1% a 2%) es adecuado para la soldadura de precisión, enfatizando el rendimiento de iniciación del arco; El alto contenido de tierras raras (3% a 4%) es adecuado para soldadura de alta corriente y servicio pesado, lo que mejora la longevidad y la resistencia al desgaste. Los experimentos muestran que el efecto sinérgico del óxido de lantano y el óxido de cerio puede reducir el trabajo de escape de electrones a 2,0 a 2,5 eV, y la estabilidad del arco se mejora a más del 95%. En el proceso de proporción, se requiere simulación por computadora y verificación experimental de la relación optimizada, y los métodos comunes incluyen diseño experimental ortogonal y análisis de superficie de respuesta para determinar la combinación óptima de tierras raras.

Mezcla de materias primas: El proceso de mezcla adopta métodos de dopaje por pulverización o impregnación. La solución de nitrato de tierras raras que dopa por pulverización se rocía uniformemente en el polvo de trióxido de tungsteno, la velocidad de pulverización se controla de 0,5 a 1 L / min, la temperatura de secado es de 80 a 120 °C y el secador por pulverización se utiliza para formar un polvo dopado uniforme. El método de impregnación consiste en remojar polvo de tungsteno en una solución de tierras raras con una velocidad de agitación de 200 a 300 rpm para garantizar una adsorción uniforme. Después de mezclar, el polvo debe secarse al vacío o en atmósfera inerte para evitar la oxidación. Después del secado, el polvo debe tamizarse a través de una pantalla de malla 200 para eliminar las partículas aglomeradas.

Control de calidad: La preparación de la materia prima debe controlar estrictamente el contenido de humedad (<0,5%) y el contenido de impurezas (<0,01%). El entorno de almacenamiento debe ser seco, ventilado y la temperatura debe controlarse entre 10 y 25 °C para evitar la degradación debido a la humedad o la contaminación. El registro de proporción debe archivar digitalmente y cooperarse con el sistema de monitoreo en línea para garantizar la coherencia entre lotes.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

3.2 Explicación detallada del proceso de pulvimetalurgia

El proceso de pulvimetalurgia es la tecnología central para la preparación de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, que logra la densificación y la optimización del rendimiento de los materiales a través de la preparación de polvo, el moldeo, la sinterización y el posprocesamiento. La ventaja de este proceso es que puede controlar con precisión la distribución y la microestructura de los óxidos de tierras raras, y es adecuado para la producción industrial de electrodos de alto rendimiento.

Preparación de polvo: La preparación de polvo implica dopaje y aleación mecánica. Dopaje El nitrato de tierras raras se introduce en el polvo de tungsteno mediante secado por pulverización o método de mezcla húmeda, y después del secado, forma un polvo dopado uniforme. La aleación mecánica adopta un molino planetario de alta energía, y los parámetros del molino de bolas son: 400 a 600 rpm, la relación de bolas es de 8:1 a 10:1 y el tiempo de molienda es de 8 a 12 horas. El medio del molino de bolas está hecho de bolas de carburo para evitar la contaminación por metales. La aleación mecánica refina las partículas de polvo de 0,1 a 1 micras, introduciendo defectos de cristal y mejorando la actividad de sinterización posterior.

Caracterización del polvo: El polvo preparado debe ser detectado por un analizador láser del tamaño de las partículas para garantizar que el D50 (tamaño medio de las partículas) esté en el rango de 1 a 5 micras. El área de superficie específica se determina mediante el método BET, generalmente de 2 a 5 m²/g, para garantizar la actividad de sinterización. El análisis de difracción de rayos X (XRD) confirmó la forma cristalina y la distribución de los óxidos de tierras raras, y la microscopía electrónica de barrido (SEM) observó la morfología y uniformidad de las partículas.

Formación: La formación presiona el polvo en una pieza en bruto, y los métodos comunes incluyen el prensado isostático en frío y el moldeo. El prensado isostático en frío utiliza medio líquido para aplicar una presión uniforme de 100 a 300 MPa, el tiempo de moldeo es de 5 a 10 minutos y la densidad del cuerpo alcanza del 60% al 70% de la densidad teórica. El moldeo utiliza un molde rígido que aplica una presión de 150 a 200 MPa a través de una prensa hidráulica, lo que lo hace adecuado para la producción de lotes pequeños. Se agrega alcohol polivinílico (PVA) al 0,5% al 1% como aglutinante para mejorar la formabilidad, que debe eliminarse en la presinterización. El equipo de moldeo debe estar equipado con sensores de presión para garantizar una distribución uniforme de la presión.

Sinterización: La sinterización realiza la unión de partículas de polvo y la densificación del material, y la sinterización por presión en caliente al vacío y la sinterización por plasma de chispa (SPS) se utilizan comúnmente. La sinterización por presión en caliente al vacío se lleva a cabo a presiones de 1600 a 1800 °C y 50 a 80 MPa, con control segmentado de las velocidades de calentamiento (10 °C/min a 1000 °C, 4 °C/min a la temperatura objetivo), tiempo de mantenimiento de 60 a 90 minutos y vacío de 10⁻³ Pa. SPS utiliza corriente pulsada para calentar rápidamente (100 a 200 °C/min), sinterizar a 1400 a 1600 °C y mantener caliente durante 5 a 10 minutos, adecuado para nanopulvos y reducir la evaporación de tierras raras. La densidad del material después de la sinterización está cerca del valor teórico (>99%), y el tamaño de grano se controla de 5 a 10 micras.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Post-procesamiento: El post-procesamiento incluye forjado rotativo, dibujo y acabado de superficies. La forja rotativa procesa piezas en bruto sinterizadas a un diámetro de 3 a 10 mm, con una tasa de deformación del 20% al 30% por pasada. El diámetro se redujo aún más a 0,5 a 10 mm por estirado, lubricado con emulsión de grafito. El acabado superficial se realiza mediante pulido mecánico o electroquímico para eliminar defectos superficiales y mejorar el acabado.

Ventajas y desafíos del proceso: El proceso de pulvimetalurgia permite la distribución por difusión de óxidos de tierras raras, mejorando la emisión de electrones del electrodo y la resistencia al desgaste. Los desafíos incluyen el control de la uniformidad del polvo y la prevención de defectos de sinterización (por ejemplo, porosidad), que deben abordarse mediante la optimización del proceso y el monitoreo en línea. En el futuro, la combinación de nanotecnología y automatización mejorará aún más la eficiencia y la calidad.

3.3 Proceso de reducción

El proceso de reducción convierte el trióxido de tungsteno o el paratungstato de amonio en polvo de tungsteno de alta pureza mientras fija la distribución de óxido de tierras raras, que es un paso clave en la preparación de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras. La reducción de hidrógeno se usa ampliamente debido a su alta eficiencia y limpieza, y se divide en dos etapas de reducción para optimizar la calidad del polvo.

La primera etapa de reducción: A 500 a 600 °C, el polvo de trióxido de tungsteno dopado se coloca en una atmósfera de hidrógeno con una pureza de hidrógeno de más del 99,99% y un caudal de 0,5 a 1 m³/h. El horno de reducción adopta un horno tubular o un horno de campana, y la desviación de temperatura se controla a ± 5 °C. El tiempo de reducción se ajusta en función de la cantidad de polvo, normalmente de 4 a 6 horas, para generar la fase intermedia WO₂, mientras que el nitrato de tierras raras se descompone en óxidos y se fija inicialmente en la matriz de tungsteno. El contenido de oxígeno cae por debajo del 1%.

La segunda etapa de reducción: la temperatura aumenta a 800 a 950 °C, eliminando aún más el oxígeno residual y produciendo polvo de tungsteno puro. El caudal de hidrógeno se incrementa a 1 a 1,5 m³/h, lo que garantiza una reducción adecuada. El tiempo de reducción es de 6 a 8 horas, el tamaño de partícula del polvo se controla de 1 a 5 micras y el contenido de oxígeno se reduce a menos del 0,01%. La pared interior del horno de reducción debe estar hecha de acero inoxidable resistente a altas temperaturas o aleación de molibdeno para evitar la contaminación. El polvo reducido se analizó mediante SEM y XRD para confirmar la morfología de las partículas y la distribución de tierras raras.

Tecnología de optimización: la reducción del gradiente de temperatura (calentamiento segmentado) y la reducción de hidrógeno húmedo (el hidrógeno contiene trazas de vapor de agua) pueden refinar las partículas y mejorar la actividad de la superficie. La reducción de hidrógeno húmedo promueve el crecimiento uniforme del grano del polvo de tungsteno al controlar el contenido de vapor de agua (0.1% a 0.5%). Agregar trazas de aditivos como el carbonato de litio puede reducir la temperatura de reducción y ahorrar consumo de energía.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Seguridad y protección del medio ambiente: La reducción de hidrógeno debe estar equipada con sistemas de detección de fugas y ventilación, y los gases de escape se tratan con un dispositivo de absorción de gases de escape para recuperar el hidrógeno no reaccionado. La tecnología de reducción ecológica explora hornos de calefacción eléctricos de bajo consumo para reducir las emisiones de carbono. La optimización del proceso de reducción asegura que el polvo sea de alta calidad, sentando las bases para su posterior conformado y sinterización.

3.4 Proceso de formación y conformado

El proceso de formación y conformado presiona el polvo de tungsteno dopado en una pieza en bruto para proporcionar una estructura inicial uniforme y densa para la sinterización. La calidad del moldeo afecta directamente el rendimiento final del electrodo, y los métodos comunes incluyen prensado isostático en frío, moldeo e hidroformado.

Prensado isostático en frío: se aplica una presión uniforme (100 a 300 MPa) a través de un medio líquido y el polvo se carga en un molde de caucho flexible con un tiempo de formación de 5 a 10 minutos. La densidad del cuerpo alcanza entre el 60% y el 70% de la densidad teórica, lo que lo hace adecuado para electrodos grandes (por ejemplo, > 10 mm de diámetro). El equipo debe estar equipado con una bomba de alta presión y un sensor de presión para garantizar una presión estable.

Moldeo: Los moldes de acero rígido se utilizan para aplicar una presión de 150 a 200 MPa a través de prensas hidráulicas, adecuadas para la producción de lotes pequeños. Agregue alcohol polivinílico o parafina al 0,5% al 1% como aglutinante para mejorar la fluidez del polvo. Después del moldeo, el cuerpo debe sinterizarse previamente a 400 a 600 °C para eliminar el aglutinante e inicialmente denso.

Hidroformado: Se utiliza para electrodos de formas complejas, mezclando polvo con aglutinante en una suspensión, inyectando molde para curar. La humedad de la lechada se controla entre un 20% y un 30%, y se seca a temperatura ambiente durante 24 horas después del moldeo para evitar el agrietamiento por estrés térmico. Después del desmoldeo, se debe verificar la precisión dimensional del cuerpo y la desviación < 0,1 mm.

Optimización de procesos: Optimice la distribución de la presión a través de la simulación de elementos finitos para reducir los gradientes de densidad. La adición de partículas de óxido de tierras raras a nanoescala puede mejorar la fuerza del cuerpo. El análisis de defectos mostró que la presión desigual causaba porosidad o grietas, que debían resolverse mediante perfiles de varias etapas y corrección de presión. El equipo de moldeo automatizado integra sistemas de inspección por visión para mejorar la consistencia.

Control de calidad: El cuerpo moldeado debe inspeccionarse mediante pruebas ultrasónicas para verificar si hay defectos internos. Las pruebas de densidad utilizan el método de Arquímedes para garantizar la uniformidad. Los registros digitales del proceso de moldeo facilitan la trazabilidad y la optimización.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

4. Packaging and Supply Specifications

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

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

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

3.5 Proceso de sinterización

El proceso de sinterización densifica el cuerpo formado a través de un tratamiento a alta temperatura, formando un material de electrodo de alta densidad y alta resistencia. La sinterización de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras requiere un equilibrio equilibrado de óxidos de tierras raras y control del tamaño de grano, y los métodos comunes incluyen sinterización por presión en caliente al vacío, sinterización por plasma de chispa (SPS) y sinterización por fusión vertical.

Sinterización por prensa en caliente al vacío: Realizada a 1600 a 1800 °C, presión de 50 a 80 MPa, grado de vacío 10^{-3} Pa, control segmentado de velocidad de calentamiento: 10 °C/min a 1000 °C, 4 °C/min a temperatura objetivo, mantenido caliente durante 60 a 90 minutos. El horno de sinterización adopta un cuerpo calefactor de grafito y está equipado con un termómetro infrarrojo para garantizar una temperatura uniforme. Después de la sinterización, la densidad del material alcanza más del 99%, el tamaño de grano es de 5 a 10 micras y los óxidos de tierras raras forman una segunda fase de difusión para mejorar la resistencia a altas temperaturas.

Sinterización por plasma de chispa (SPS): Calentamiento rápido (100 a 200 °C/min) mediante corriente pulsada, sinterización a 1400 a 1600 °C, 30 a 50 MPa y mantenimiento durante 5 a 10 minutos. SPS es adecuado para nanopulvos, reduce las pérdidas por evaporación de tierras raras y controla el tamaño de grano de 3 a 8 micras. El equipo debe estar equipado con un sistema de control de corriente de alta precisión para evitar la sobrequeima.

Sinterización por fusión vertical: utilizando una corriente de fusión del 90%, sinterizada en un estado parcialmente fundido de matriz de tungsteno, adecuada para electrodos de gran diámetro. La temperatura se controla por encima de 3000 °C y la atmósfera es de argón o hidrógeno para evitar la oxidación. La sinterización vertical puede aumentar la densidad, pero se requiere un control preciso de la corriente para evitar la volatilización de tierras raras.

Pre-sinterización: Realizada a $1200 \pm 50^\circ\text{C}$, vacío o atmósfera de hidrógeno, retirando el ligante y preliminarmente densa, manteniendo de 2 a 4 horas. La densidad del cuerpo presinterizado alcanza del 80% al 85%, proporcionando una estructura estable para la posterior sinterización a alta temperatura.

Tecnología de optimización: La adición de aditivos como ZrH_2 (0,1% a 0,5%) puede reducir el contenido de oxígeno, formar una fase estable como $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ y mejorar el rendimiento de emisión de electrones. El calentamiento segmentado evita las grietas causadas por gradientes de temperatura. SEM y TEM analizaron la microestructura después de la sinterización para confirmar la distribución de tierras raras y el estado del grano.

Control de defectos: Los defectos comunes incluyen estomas (debido al oxígeno residual), engrosamiento del grano (debido a la temperatura excesiva) y separación de tierras raras (debido a la volatilización). Al optimizar el grado de vacío y el tiempo de retención, la porosidad se reduce a menos del 0,1%. La sinterización ecológica utiliza SPS de baja energía para reducir las emisiones de carbono.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

3.6 Tecnología de procesamiento a presión

Las técnicas de mecanizado a presión procesan piezas en bruto sinterizadas en varillas de electrodo, mejorando la densidad y la calidad de la superficie, y los métodos comunes incluyen forjado rotativo, estirado y enderezamiento.

Forja rotativa: el diámetro de la palanquilla sinterizada se reduce de 20 mm a 3 a 10 mm mediante una máquina de martillo perforador, y la tasa de deformación es del 20% al 30% por pasada. La temperatura de procesamiento es de 800 a 1200 °C para mantener la plasticidad de la matriz de tungsteno. El equipo de forja rotativa debe estar equipado con un sistema de alimentación automática para garantizar una deformación uniforme. Después de la forja rotativa múltiple, la densidad del material alcanza más del 99,5% y los granos se refinan aún más.

Dibujo: La barra se estira con matrices de carburo para reducir el diámetro a 0,5 a 10 mm. La velocidad de extracción es de 0,5 a 2 m/min, lubricada con emulsión de grafito, y el coeficiente de fricción es de $< 0,1$. La máquina de tracción de cadena logra una producción continua y mejora la eficiencia. La rugosidad de la superficie de la barra después del estirado es de $Ra < 0,5$ micras.

Enderezamiento y corte: El enderezamiento adopta una máquina enderezadora de rodillos para garantizar que la desviación de rectitud de la barra sea $< 0,1$ mm / m. El corte se realiza mediante corte láser o mecánico con una longitud de 150 a 175 mm y una tolerancia de $\pm 0,5$ mm.

Optimización y control de defectos: La simulación de elementos finitos optimiza los parámetros de deformación para reducir el riesgo de grietas. La distribución de difusión de óxidos de tierras raras mejora la tenacidad del material y reduce la tasa de fractura. Los defectos comunes incluyen arañazos superficiales (debido a una lubricación insuficiente) y grietas internas (debido a tasas de deformación excesivas), que se resuelven mediante la optimización de la lubricación y la deformación segmentaria.

Automatización: La línea de procesamiento de presión integra un sistema de inspección en línea para monitorear el diámetro y la calidad de la superficie en tiempo real. El grado de automatización aumenta el rendimiento a más del 98% y reduce los costos de mano de obra.

3.7 Tratamiento de superficies y tecnología de recubrimiento

La tecnología de tratamiento y recubrimiento de superficies es el paso final para mejorar la resistencia a la corrosión y las propiedades de emisión de electrones de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, incluido el pulido, la limpieza y los recubrimientos opcionales.

Pulido: Pulido mecánico (muela abrasiva o paño de pulido) y pulido electroquímico. El pulido mecánico utiliza abrasivos de alúmina, con un tamaño de partícula de malla 2000 y una rugosidad superficial de $Ra < 0,2$ micras. El pulido electroquímico se realiza en una solución mixta de ácido sulfúrico y ácido fosfórico con una densidad de corriente de 0,5 a 1 A/cm² para eliminar los microdefectos de la superficie y mejorar el acabado.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Limpieza: El aceite y los óxidos se eliminan mediante limpieza ultrasónica, la solución de limpieza es una solución alcalina (pH 8 a 10), una temperatura de 50 a 60 °C, una frecuencia ultrasónica de 40 kHz y un tiempo de 5 a 10 minutos. Después de la limpieza, enjuague con agua desionizada y seque a 80 °C para evitar la humedad residual.

Técnicas de recubrimiento: Opcionalmente se pueden aplicar óxidos de tierras raras o recubrimientos cerámicos como películas de La_2O_3 o ZrO_2 , logrados mediante deposición química de vapor (CVD) o pulverización de plasma. El recubrimiento tiene un espesor de 1 a 5 micras, lo que mejora la resistencia a la oxidación y la eficiencia de emisión de electrones. El proceso CVD se realizó a 800 a 1000 °C a baja presión (10^{-2} Pa) a una tasa de deposición de 0,1 $\mu\text{m} / \text{min}$.

Optimizado y respetuoso con el medio ambiente: la limpieza con plasma mejora la adhesión del recubrimiento y reduce el tiempo de pretratamiento. La tecnología ecológica utiliza agentes de limpieza a base de agua para reemplazar los solventes orgánicos y reducir las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV). La tasa de recuperación de los materiales de recubrimiento es superior al 90%, lo que cumple con los requisitos de la economía circular.

3.8 Control de parámetros clave en el proceso de preparación

Los parámetros clave se controlan a lo largo de todo el proceso de preparación para garantizar la consistencia de la calidad del electrodo y la optimización del rendimiento, que involucra temperatura, presión, vacío y tiempo.

Etapas de reducción: la temperatura de reducción de la primera etapa es de 500 a 600 °C, la segunda etapa es de 800 a 950 °C y la desviación es de ± 5 °C. Caudal de hidrógeno de 0,5 a 1,5 m^3/h , pureza 99,99%. El monitoreo del contenido de oxígeno utiliza un analizador de gases para controlar por debajo del 0,01%.

Etapas de moldeo: presión isostática en frío de 100 a 300 MPa, tiempo de mantenimiento de 5 a 10 minutos, desviación de presión <1%. Presión de moldeo de 150 a 200 MPa, el contenido de aglutinante se mide con precisión (0,5% a 1%).

Etapas de sinterización: temperatura de sinterización por presión en caliente al vacío de 1600 a 1800 °C, velocidad de calentamiento de 4 a 10 °C/min, grado de vacío de 10^{-3} Pa, conservación del calor durante 60 a 90 minutos. Las corrientes SPS se controlan de 1000 a 2000 A y las presiones de 30 a 50 MPa. Los sensores de temperatura y presión garantizan parámetros estables.

Procesamiento a presión: temperatura de forja rotativa de 800 a 1200 °C, tasa de deformación del 20% al 30%. Velocidad de estirado de 0,5 a 2 m/min, control del flujo de lubricante. La desviación de enderezamiento < 0,1 mm/m.

Control de calidad: El control estadístico de procesos (SPC) se utiliza para recopilar datos de parámetros en tiempo real y combinar algoritmos de IA para predecir desviaciones. Se validaron experimentalmente indicadores clave de rendimiento como la potencia de escape de electrones <2,5

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

eV). El sistema de gestión digital registra los datos de todo el proceso para garantizar la trazabilidad.

3.9 Optimización de procesos y análisis de defectos comunes

La optimización de procesos mejora la eficiencia de la producción y la calidad del producto, y analiza y mejora defectos comunes como grietas, porosidad y separación de tierras raras.

Medidas de optimización:

Aleación mecánica: extienda el tiempo de molienda de bolas a 12 horas, refine las partículas a 0,1 micras y mejore la actividad de sinterización.

Sinterización SPS: acorta el tiempo de retención a 5 minutos, reduce la volatilización de tierras raras y controla el tamaño de grano a 3 a 5 micras.

Se añaden aditivos: entre un 0,1 % y un 0,5 % de ZrH_2 reduce el contenido de oxígeno, forma una fase estable y mejora el rendimiento de la emisión de electrones.

Control automatizado: sensores integrados y parámetros de optimización de IA, el rendimiento se incrementa a más del 95%.

Análisis de defectos:

Grietas: Debido a la presión de formación desigual o al gran gradiente de temperatura de sinterización, se resuelve mediante la formación de múltiples etapas y el calentamiento segmentado.

Porosidad: Debido a la insuficiencia de oxígeno residual o al vacío de sinterización, el grado de vacío se optimizó a 10^{-3} Pa y la porosidad se redujo al 0,1%.

Separación de tierras raras: Volatilización a altas temperaturas, mitigada mediante la reducción de la temperatura de sinterización y la adición de estabilizadores (como ZrO_2).

Método de verificación: La simulación de elementos finitos predice la distribución de defectos, y la detección SEM y ultrasónica verifica el efecto de optimización. Después de la optimización, la vida útil del electrodo se extiende en un 20% y la consistencia del rendimiento mejora en un 10%.

3.10 Tecnología de preparación ecológica

La tecnología de preparación ecológica se centra en la protección del medio ambiente y la sostenibilidad, reemplazando los electrodos radiactivos de tungsteno de torio y reduciendo el impacto ambiental.

Recuperación de materias primas: Extraiga materias primas de electrodos de tungsteno de desecho y desechos de tierras raras, con una tasa de recuperación de más del 80%, reduciendo la extracción de minerales.

Reducción limpia: utilizando hornos de calefacción eléctricos alimentados por energía renovable, el hidrógeno se recicla y los gases de escape se tratan mediante combustión catalítica.

Sinterización de bajo consumo: La sinterización SPS reduce el consumo de energía en un 30% y las emisiones de carbono en un 20% en comparación con el prensado en caliente tradicional.

Limpieza ecológica: Los agentes de limpieza a base de agua sustituyen a los disolventes orgánicos, reduciendo las emisiones de COV en un 90%. El líquido residual recupera tierras raras a través del intercambio iónico.

Eliminación de residuos: Los electrodos de desecho se recuperan del tungsteno y las tierras raras mediante fusión a alta temperatura, con una tasa de reciclaje del 85%.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Las tecnologías ecológicas cumplen con las regulaciones REACH y RoHS, mejorando la competitividad del mercado y promoviendo el desarrollo sostenible.

3.11 Diagrama de flujo del proceso de producción a gran escala

El diagrama de flujo del proceso de producción a gran escala es el siguiente:

Preparación de la materia prima: Pesar el trióxido de tungsteno y el nitrato de tierras raras, preparar una solución (pH 5,5 a 6,5).

Mezcla y secado: dopaje por pulverización, secado a 80 a 120 °C, cribado de mallas 200.

Reducción: Dos etapas de reducción de hidrógeno (500 a 600 °C, 800 a 950 °C), contenido de oxígeno < 0,01%.

Moldeo: prensado isostático en frío (100 a 300 MPa) o moldeo, 60% a 70% de densidad del cuerpo.

Pre-sinterización: 1200 °C, retire el aglutinante.

Sinterización: Prensado en caliente al vacío (1600 a 1800 °C, 60 MPa) o SPS (1400 a 1600 °C).

Mecanizado a presión: forja rotativa (diámetro de 3 a 10 mm), embutición (0,5 a 10 mm), enderezamiento.

Tratamiento superficial: pulido mecánico/electroquímico ($R_a < 0,2$ micras), limpieza ultrasónica.

Inspección de calidad: SEM, XRD, prueba de rendimiento (potencia de escape electrónica < 2,5 eV).

Embalaje y almacenamiento: embalaje a prueba de humedad con temperatura de almacenamiento de 10 a 25 °C.



Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

4. Packaging and Supply Specifications

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

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

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Capítulo 4 Características físicas, químicas y de soldadura de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

4.1 Propiedades mecánicas de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Las propiedades mecánicas de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras son clave para su aplicación en entornos industriales exigentes, incluida la dureza, la resistencia, la tenacidad y la resistencia al desgaste. Estas propiedades están influenciadas por la adición de matriz de tungsteno y óxidos de tierras raras, y son significativamente mejores que los [electrodos de tungsteno puro](#).

Dureza: La dureza Vickers (HV) de la matriz de tungsteno está entre 400 y 450, y la adición de óxidos de tierras raras (por ejemplo, óxido de lantano, óxido de cerio) mejora aún más la dureza a través del refinamiento del grano, generalmente hasta 450 a 500 HV. El aumento de la dureza se debe al fortalecimiento de la difusión de las partículas de óxido de tierras raras, que forman puntos de clavo en el límite del grano de tungsteno para inhibir el deslizamiento del límite del grano. Por ejemplo, los electrodos que contienen un 2% de óxido de lantano tienen aproximadamente un 15% más de dureza que el tungsteno puro, lo que los hace adecuados para soldadura de alta carga.

Resistencia: La resistencia a la tracción de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras es de 800 a 1000 MPa a temperatura ambiente y de 400 a 600 MPa a altas temperaturas (1500 °C). Los óxidos de tierras raras mejoran la resistencia de la matriz al formar segundas fases estables como las partículas de La_2O_3 o CeO_2 . La adición de óxido de itrio es particularmente significativa, ya que los electrodos que contienen 2% de Y_2O_3 tienen una resistencia a la tracción un 20% mayor a altas temperaturas que el tungsteno puro, lo que los hace adecuados para la soldadura de componentes aeroespaciales.

Tenacidad: Los electrodos de tungsteno puro tienen una alta fragilidad debido a sus granos gruesos y su tenacidad a la fractura (K_{Ic}) es de aproximadamente $6 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. La adición de óxidos de tierras raras refina los granos de 5 a 10 micras y mejora la tenacidad a la fractura de 8 a $10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. El efecto sinérgico del óxido de cerio y el óxido de lantano mejora la tenacidad al reducir los defectos del límite del grano, reduciendo el riesgo de fractura en la punta del electrodo durante la soldadura.

Resistencia al desgaste: La resistencia al desgaste de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras mejora significativamente mediante la dispersión y el fortalecimiento de los óxidos de tierras raras. En la soldadura de alta corriente, la punta del electrodo se desgasta debido a la alta temperatura del arco, y el electrodo que contiene zirconio reduce la tasa de desgaste en un 30% al formar una capa protectora de óxido. Las pruebas de resistencia a la abrasión muestran que el volumen de desgaste de los electrodos compuestos es aproximadamente un 40% menor que el de los electrodos de tungsteno puro, lo que prolonga la vida útil.

Método de prueba: Las propiedades mecánicas están determinadas por el probador de dureza Vickers, el probador de tracción universal y el probador de impacto. Las pruebas de rendimiento a alta temperatura se realizan en una atmósfera de vacío o inerte, simulando el entorno de soldadura.

[Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal](#)

El análisis microscópico se realizó mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) para observar la morfología de la fractura y confirmar el mecanismo de fortalecimiento de las partículas de tierras raras.

La optimización de las propiedades mecánicas permite que los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras funcionen bien en soldaduras de alta resistencia a largo plazo, especialmente adecuadas para aplicaciones exigentes como equipos de energía nuclear y fabricación de motores aeronáuticos.

4.2 Propiedades térmicas de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Las propiedades térmicas determinan la estabilidad y durabilidad de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras en entornos de arco de alta temperatura, incluido el punto de fusión, la conductividad térmica y el coeficiente de expansión térmica.

Punto de fusión: El punto de fusión de la matriz de tungsteno es de 3410 °C, que es la base para la estabilidad a altas temperaturas del electrodo compuesto. La adición de óxidos de tierras raras (como La_2O_3 , CeO_2) tiene poco efecto sobre el punto de fusión, pero la resistencia a la deformación a alta temperatura se mejora al mejorar la microestructura. El electrodo que contiene óxido de itrio al 2% permanece estructuralmente intacto por encima de 3000 °C, lo que lo hace adecuado para el corte por plasma y la fusión a alta temperatura.

Conductividad térmica: La conductividad térmica del tungsteno es de aproximadamente 174 W / (m · K) (temperatura ambiente), que disminuye ligeramente a altas temperaturas. La adición de óxidos de tierras raras aumenta la conductividad térmica entre un 5 y un 10% al refinar los granos y reducir la resistencia a la disipación de calor en los límites de los granos. Por ejemplo, la conductividad térmica de los electrodos que contienen óxido de cerio es de 180 a 190 W/(m·K) a 1000 °C, lo que contribuye a una rápida disipación del calor y reduce el desgaste de la punta.

Coeficiente de expansión térmica: El coeficiente de expansión térmica del tungsteno es de $4,5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, y su baja expansión térmica reduce el estrés térmico a altas temperaturas. La adición de óxidos de tierras raras aumenta ligeramente el coeficiente de expansión térmica (hasta $4,8$ a $5,0 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$), pero el estrés térmico se puede controlar optimizando la relación (por ejemplo, la combinación de óxido de circonio y lantano) para garantizar la estabilidad del electrodo durante el ciclo térmico.

Rendimiento de choque térmico: el electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras se fortalece con la difusión de óxidos de tierras raras y la resistencia al choque térmico mejora significativamente. El electrodo que contiene zirconio permanece libre de grietas en condiciones de aumento rápido de temperatura ($>1000^\circ\text{C} / \text{min}$), lo que lo hace adecuado para soldadura de alta frecuencia. La prueba de choque térmico adopta el método de ciclo rápido de frío y calor rápido, y el número de ciclos del electrodo compuesto es un 50% mayor que el del tungsteno puro.

Método de prueba: la conductividad térmica se determina mediante el método de flash láser y el

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

coeficiente de expansión térmica se prueba en el rango de 25 a 2000 °C utilizando un explotador. El rendimiento del choque térmico se evalúa mediante una prueba de simulación de arco y se registra el tiempo de aparición de grietas. La optimización de las propiedades térmicas permite que el electrodo compuesto funcione bien en entornos de alta temperatura y alta carga de calor.

4.3 Propiedades eléctricas de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Las propiedades eléctricas son las principales ventajas de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, que determinan su rendimiento de iniciación del arco y la estabilidad del arco en la soldadura, incluido principalmente el trabajo de escape de electrones, la conductividad y las características del arco.

Trabajo de escape de electrones: El trabajo de escape de electrones de los electrodos de tungsteno puro es de 4,5 eV, lo que resulta en la iniciación del arco. La adición de óxidos de tierras raras redujo significativamente el trabajo de escape, por ejemplo, el trabajo de escape del electrodo que contenía óxido de cerio al 2% se redujo a 2,2 a 2,5 eV, y la combinación de óxido de lantano y óxido de itrio se optimizó aún más a menos de 2,0 eV. La baja potencia de escape permite que el electrodo se arquee rápidamente a bajo voltaje, lo que reduce el consumo de energía.

Conductividad: La conductividad del tungsteno es de $1,82 \times 10^7$ S/m (temperatura ambiente), y la adición de óxidos de tierras raras mejora ligeramente la conductividad al reducir la resistencia del límite del grano. El electrodo que contiene óxido de lantano aumenta la conductividad en un 5% a 1000 °C, lo que garantiza una alta eficiencia de transferencia de corriente. La prueba de conductividad utiliza el método de cuatro sondas para confirmar la optimización de la distribución de corriente mediante la distribución uniforme de partículas de tierras raras.

Características del arco: La estabilidad del arco de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras es tan alta como más del 95%, que es mejor que el 80% del tungsteno puro. Los óxidos de tierras raras forman un punto de emisión de trabajo de escape bajo en la superficie del electrodo, lo que mejora la eficiencia de emisión de electrones y hace que el arco se concentre y sea estable. El electrodo que contiene óxido de cerio y óxido de lantano reduce la deriva del arco en un 30% en la soldadura de CA, lo que lo hace adecuado para la soldadura de aleación de aluminio. Las pruebas de arco verifican la estabilidad a través de fotografías de alta velocidad y análisis de fluctuaciones de corriente.

Mecanismo de optimización: Los óxidos de tierras raras migran a la superficie del electrodo a altas temperaturas, formando una capa de emisión activa y reduciendo la tensión de arranque del arco (de 50 V a 30 V para tungsteno puro). Los compuestos multivariantes (por ejemplo, WLaCeY) mejoran la vida útil del arco al equilibrar sinérgicamente la emisión de electrones y la estabilidad térmica.

Método de prueba: El trabajo de escape de electrones se determina mediante espectroscopia de fotoelectrones ultravioleta (UPS) y la conductividad se mide con un medidor de resistencia de alta precisión. Las características del arco se prueban en un entorno de soldadura TIG simulado, registrando el tiempo de inicio del arco y la longitud del arco. La superioridad de las propiedades

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

eléctricas hace que los electrodos compuestos sean insustituibles en la soldadura de precisión.

4.4 Estabilidad química y resistencia a la corrosión de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

La estabilidad química y la resistencia a la corrosión determinan la durabilidad de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras en entornos complejos, especialmente en atmósferas de gas oxidante o corrosivo de alta temperatura.

Estabilidad química: La matriz de tungsteno tiene una excelente estabilidad a ácidos, álcalis y agua a temperatura ambiente, y no es propensa a reacciones químicas. La adición de óxidos de tierras raras mejora aún más la estabilidad química a altas temperaturas. Por ejemplo, el circonio y el óxido de itrio forman una capa protectora en la superficie del electrodo, inhibiendo la reacción del tungsteno con el oxígeno o el nitrógeno. La velocidad de oxidación del electrodo que contenía 2% de circonio se redujo en un 40% a 2000 ° C y atmósfera oxigenada.

Resistencia a la corrosión: Los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras sobresalen en gases corrosivos, como el argón que contiene trazas de vapor de agua. La adición de óxido de lantano y óxido de cerio reduce la acumulación de óxido en la superficie del electrodo y aumenta la capacidad anticontaminación en un 50%. En un entorno de alta humedad, la velocidad de corrosión del electrodo que contiene circonio es solo 1/3 de la del tungsteno puro, lo que prolonga la vida útil.

Resistencia a la contaminación: Durante la soldadura, los electrodos pueden contaminarse con salpicaduras de charco de fusión o impurezas gaseosas. Los óxidos de tierras raras reducen la adsorción de impurezas y mantienen la estabilidad del arco al formar una capa superficial estable. La prueba mostró que la estabilidad del arco del electrodo que contenía óxido de cerio se mantuvo en más del 90% en un ambiente contaminado.

Método de prueba: La estabilidad química se evaluó mediante un experimento de oxidación a alta temperatura (1500 a 2000 ° C, presión parcial de oxígeno 10^{-2} Pa) y se registró la tasa de pérdida de masa. La resistencia a la corrosión utiliza la prueba de niebla salina y la prueba de corrosión electroquímica para medir la densidad de la corriente de corrosión. Antiincrustante Al simular el entorno de soldadura, se observa la morfología de la superficie del electrodo.

La estabilidad química mejorada y la resistencia a la corrosión hacen que el electrodo compuesto sea adecuado para condiciones de trabajo complejas, como la ingeniería marina y la soldadura de equipos químicos.

4.5 Características de soldadura de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Las características de soldadura son los indicadores de aplicación principales de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, incluido el rendimiento de inicio del arco, la vida útil de combustión del arco, el control de profundidad de penetración y la calidad de la soldadura.

Rendimiento de iniciación de arco: Los óxidos de tierras raras reducen el trabajo de escape de

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

electrones, reduciendo el voltaje de arco de 50 V a 25 a 30 V de tungsteno puro y acortando el tiempo de inicio del arco a menos de 0,1 segundos. Los electrodos que contienen óxido de cerio funcionan bien a bajas corrientes (<50 A) para soldadura de precisión; Los electrodos que contienen óxido de lantano tienen una mayor estabilidad del arco en la soldadura de CA.

Vida útil del arco: La vida útil del arco de los electrodos compuestos alcanza de 500 a 1000 horas, que es de 2 a 3 veces más larga que los electrodos de tungsteno puro (200 a 300 horas). La baja tasa de evaporación y la resistencia al quemado de los óxidos de tierras raras reducen las pérdidas de puntas, y el electrodo que contiene óxido de itrio prolonga su vida útil en un 30% a altas corrientes (>200 A).

Control de profundidad de penetración: la concentración de arco del electrodo compuesto es alta y la uniformidad de la profundidad de penetración aumenta en un 20%. Los electrodos que contienen óxido de lantano y óxido de cerio se pueden controlar con precisión de 0,5 a 5 mm en soldadura TIG, lo que los hace adecuados para soldadura de placas delgadas y gruesas. La forma del arco se analiza mediante fotografía de alta velocidad para confirmar su estabilidad.

Calidad de la soldadura: el electrodo compuesto reduce la deriva del arco y las salpicaduras, la superficie de la soldadura es lisa y la porosidad se reduce en un 50%. Los electrodos con WLaCeY aumentan la resistencia a la tracción de la soldadura en un 10% en la soldadura de aleación de aluminio, cumpliendo con los requisitos aeroespaciales.

Método de prueba: Las características de soldadura son probadas por el banco de pruebas de soldadura TIG, y se registran el voltaje de inicio del arco, el tiempo de encendido del arco y la distribución de la profundidad de penetración. La calidad de la soldadura se confirma mediante pruebas no destructivas de rayos X y análisis metalográficos para confirmar la tasa de defectos. La superioridad de las características de soldadura ha promovido la amplia aplicación de electrodos compuestos en campos de alta precisión.

4.6 Efectos de la adición de tierras raras en la microestructura

La adición de óxidos de tierras raras cambió significativamente la microestructura del electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras y afectó su rendimiento. Los efectos se analizan desde la estructura del grano, la distribución de fases y el control de defectos.

Refinamiento del grano: El tamaño de grano de los electrodos de tungsteno puro es de 20 a 50 micras, que es fácil de gruesar a altas temperaturas. Los óxidos de tierras raras (por ejemplo, La_2O_3 , CeO_2) inhiben el crecimiento del grano a través del efecto de fijación, reduciendo el tamaño del grano a 5 a 10 micras. El análisis SEM mostró que la uniformidad del grano del electrodo que contenía óxido de itrio al 2% se incrementó en un 30%, mejorando la tenacidad y la resistencia a la fatiga.

Distribución de fases: Los óxidos de tierras raras forman partículas difusas de segunda fase en una matriz de tungsteno, que varían en tamaño de 50 a 200 nm. Estas partículas se distribuyen uniformemente dentro de los límites de grano y granos, lo que mejora la resistencia de la matriz. El

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

óxido de zirconio y lantano se combinan para formar una fase compuesta (como $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$) para mejorar la estabilidad a altas temperaturas. El análisis XRD confirma la estabilidad y distribución de las fases de tierras raras.

Control de defectos: Los óxidos de tierras raras reducen los defectos de los límites de grano (como la desocupación, la dislocación) y reducen la tasa de fluencia a alta temperatura. La densidad de defectos del electrodo que contenía óxido de cerio se redujo en un 40%, lo que se verificó mediante observación TEM. La adición de tierras raras también inhibe la propagación de microfisuras y mejora la tenacidad a la fractura.

Análisis de mecanismos: Los óxidos de tierras raras migran a los límites de los granos durante la sinterización, formando puntas de clavo e inhibiendo el deslizamiento y el crecimiento del grano. A altas temperaturas de soldadura, las partículas de tierras raras migran a la superficie, formando una capa activa emisora de electrones y reduciendo el trabajo de escape. La optimización de la microestructura mejora significativamente el rendimiento general del electrodo.

4.7 Comparación del rendimiento del electrodo de tungsteno

Existen diferencias significativas en el rendimiento entre los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras y los electrodos de tungsteno puro y los electrodos de tungsteno de torio, y se realizan las siguientes comparaciones desde muchos aspectos:

Rendimiento de emisión de electrones: Los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras (trabajo de escape de 2,0 a 2,5 eV) son mejores que el tungsteno puro (4,5 eV) y el tungsteno de torio (2,6 a 2,8 eV), y el voltaje del arco es de 20 a 30 V más bajo, lo que lo hace adecuado para la soldadura de precisión.

Estabilidad del arco: la estabilidad del electrodo compuesto es $> 95\%$, el tungsteno puro es 80% y el tungsteno torio es 90% . El electrodo que contenía óxido de lantano tenía la tasa de deriva más baja en la soldadura de CA.

Vida útil: 500 a 1000 horas de vida útil de combustión por arco del electrodo compuesto, 200 a 300 horas de tungsteno puro, 300 a 500 horas de tungsteno de torio. La adición de tierras raras prolonga la vida de 2 a 3 veces.

Propiedades mecánicas: Dureza del electrodo compuesto de 450 a 500 HV, resistencia a la tracción de 800 a 1000 MPa, mejor que el tungsteno puro (400 HV, 700 MPa) y el tungsteno de torio (420 HV, 750 MPa).

Protección del medio ambiente: el electrodo compuesto no es radiactivo y cumple con la normativa REACH; El tungsteno de torio contiene torio radiactivo y requiere un tratamiento especial; El tungsteno puro no es radiactivo pero tiene un rendimiento deficiente.

Ámbito de aplicación: El electrodo compuesto es adecuado para soldadura TIG, soldadura por plasma, corte y baterías de nueva energía; El tungsteno de torio se reduce debido a las restricciones de protección ambiental; El tungsteno puro se limita a escenarios de baja demanda.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Los electrodos compuestos son ampliamente superiores a los electrodos tradicionales, convirtiéndose en la primera opción para la fabricación ecológica y las aplicaciones de alta gama.

4.8 Adaptabilidad ambiental de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

La adaptabilidad ambiental de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se refleja en su rendimiento estable a altas temperaturas, alta humedad y ambientes corrosivos.

Ambiente de alta temperatura: el electrodo que contiene óxido de itrio y circonio mantiene su integridad estructural por encima de 3000 °C y su resistencia a la oxidación aumenta en un 40%, lo que lo hace adecuado para el corte por plasma y la fusión a alta temperatura.

Ambiente de alta humedad: en un ambiente con 90% de humedad relativa, la velocidad de corrosión del electrodo que contiene óxido de cerio es solo 1/3 de la del tungsteno puro, y la estabilidad del arco se mantiene en más del 90%.

Gases corrosivos: En atmósferas que contienen azufre o cloro, la capa protectora de circonio reduce las reacciones superficiales de los electrodos y reduce la tasa de corrosión en un 50%. La resistencia a la contaminación se verifica mediante pruebas de salpicaduras simuladas.

Método de prueba: La adaptabilidad a altas temperaturas se evalúa mediante una prueba de ciclo térmico (25 a 2000 °C, 100 ciclos). Las pruebas de alta humedad y corrosivos emplean cámaras ambientales que registran la pérdida de calidad y los cambios de rendimiento. La adaptabilidad ambiental de los electrodos compuestos los hace adecuados para aplicaciones químicas y de ingeniería marina.

4.9 Análisis de las características de fatiga y vida útil de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Las características de fatiga y vida útil son los indicadores clave para evaluar la durabilidad de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, que implican fatiga a alta temperatura, fatiga del ciclo térmico y vida útil del arco.

Fatiga a alta temperatura: el electrodo compuesto está sujeto a una tensión cíclica de 1500 a 2000 °C, y la vida útil a la fatiga alcanza de 10^4 a 10^5 veces, que es mejor que las 10^3 veces del tungsteno puro. Los óxidos de tierras raras refinan los granos y reducen la propagación de grietas por fatiga.

Fatiga del ciclo térmico: El electrodo con zirconia se puede ciclar hasta 500 veces sin grietas en el rápido aumento y descenso de la temperatura (1000 °C / min). El estrés térmico se optimizó mediante análisis de simulación de elementos finitos para optimizar la proporción de tierras raras.

Vida útil del arco: La vida útil del arco del electrodo compuesto es de 500 a 1000 horas en soldadura de CC de 200 A, y la vida útil del electrodo que contiene WLaCeY se extiende en un 20% en soldadura de CA. Prueba de vida A través de experimentos de soldadura continuos, se registra la tasa de desgaste de la punta.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Método de análisis: El rendimiento a la fatiga se evalúa mediante la prueba de ciclo de tracción a alta temperatura y la vida útil se evalúa mediante la prueba de combustión por arco. El SEM y el análisis de fracturas confirman el mecanismo de falla por fatiga. La naturaleza de larga duración de los electrodos compuestos reduce los costos de mantenimiento y mejora la eficiencia industrial.

4.10 Electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras MSDS de CTIA GROUP LTD

Hoja de datos de seguridad de materiales (MSDS) de CTIA GROUP LTD - Electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras

Parte 1: Nombre del producto

Nombre chino: Electrodo de tungsteno compuesto de tierras raras (WLaCeY, WL, WC, etc.)

Parte 2: Composición/Información de composición

Tungsteno (>95%), óxido de lantano (0,5% a 2%), óxido de cerio (0,5% a 2%), óxido de itrio (0,5% a 2%), circonio (0 a 1%)

Parte 3: Descripción general del peligro

Peligros para la salud: Este producto no irrita los ojos ni la piel.

Peligro de explosión: Este producto no es inflamable ni irritante.

Parte 4: Medidas de primeros auxilios

Contacto con la piel: Quítese la ropa contaminada y enjuague con abundante agua corriente.

Contacto con los ojos: levante el párpado y enjuague con agua corriente o solución salina.

Tratamiento médico.

Inhalación: Deje la escena al aire libre. Si la respiración es difícil, administre oxígeno. Tratamiento médico.

Comer: Beba suficiente agua tibia para inducir el vómito. Tratamiento médico.

Parte 5: Medidas de protección contra incendios

Productos de combustión nocivos: se desconocen los productos de descomposición natural.

Métodos de extinción de incendios: Los bomberos deben usar máscaras antigás y trajes de extinción de incendios de cuerpo completo para extinguir el fuego en dirección contra el viento. Agente

extintor de incendios: polvo seco para cuero, arena.

Parte 6: Tratamiento de emergencia de fugas

Tratamiento de emergencia: aislar el área de contaminación con fugas y restringir el acceso. Corta la fuente de fuego. Se recomienda que el personal de respuesta a emergencias use máscaras contra el polvo (máscaras faciales completas) y ropa antigas. Evite el polvo, límpielo con cuidado y transfíralo a un lugar seguro en una bolsa. Si hay una gran cantidad de fugas, cúbralas con láminas de plástico o lonas. Recoger y reciclar o transportar a sitios de tratamiento de residuos para su eliminación.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Parte 7: Funcionamiento, eliminación y almacenamiento

Precauciones operativas: Los operadores deben someterse a una capacitación especial y cumplir estrictamente con los procedimientos operativos. Se recomienda que los operadores usen máscaras antipolvo con filtro autocebante, gafas protectoras de seguridad química, ropa de trabajo antipenetración tóxica y guantes de goma. Lejos del fuego y las fuentes de calor, está estrictamente prohibido fumar en el lugar de trabajo. Utilice sistemas y equipos de ventilación a prueba de explosiones. Evite el polvo. Evite el contacto con oxidantes y halógenos. Al manipularlo, debe cargarse y descargarse ligeramente para evitar daños en el embalaje y los contenedores. Equipado con las variedades y cantidades correspondientes de equipos contra incendios y equipos de tratamiento de emergencia de fugas. Los envases vacíos pueden dejar sustancias nocivas.

Precauciones de almacenamiento: Almacene en un almacén fresco y ventilado. Manténgase alejado del fuego y las fuentes de calor. Debe almacenarse por separado de los oxidantes y halógenos, y no debe mezclarse. Equipado con las variedades y cantidades correspondientes de equipos contra incendios. El área de almacenamiento debe estar equipada con materiales apropiados para contener el derrame.

Parte 8: Control de contacto/protección personal

MAC de China (mg/m³): 6

MAC ex soviético (mg/m³): 6

TLVTN: ACGIH 1 mg / m³

TLVWN: ACGIH 3 mg / m³

Método de monitoreo: Espectroluminometría de cloruro de titanio y tiocianuro de potasio

Control de ingeniería: proceso de producción libre de polvo y ventilación completa.

Protección del sistema respiratorio: Cuando la concentración de polvo en el aire excede el estándar, se debe usar una máscara antipolvo con filtro autocebante. Al evacuar en caso de emergencia, debe usar un respirador de aire.

Protección ocular: Use gafas de seguridad química.

Protección corporal: use ropa de trabajo antiveneno con penetración.

Protección de manos: use guantes de goma.

Parte 9: Propiedades físicas y químicas

Ingredientes principales: producto puro

Apariencia y propiedades: sólido, blanco brillante metálico

Punto de fusión (°C): N/A

Punto de ebullición (°C): N/A

Densidad relativa (agua = 1): 13 ~ 18.5 (20 ° C)

Densidad de vapor (aire = 1): Sin datos

Presión de vapor saturado (kPa): Sin datos

Calor de combustión (kJ/mol): Sin datos

Temperatura crítica (°C): Sin datos

Presión crítica (MPa): Sin datos

Valor logarítmico del coeficiente de distribución del agua: Sin datos

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Punto de inflamación (°C): Sin datos

Temperatura de ignición (°C): Sin datos

% límite de explosividad (V/V): Sin datos

Límite inferior de explosión % (V/V): Sin datos

Solubilidad: soluble en ácido nítrico y ácido fluorhídrico

Uso principal: se utiliza para fabricar piezas de blindaje, ejes de dardos de aleación de tungsteno, bolas de aleación de tungsteno, etc.

Parte 10: Estabilidad y reactividad

Ingredientes prohibidos: ácidos y álcalis fuertes.

Parte 11:

Toxicidad aguda: sin datos

LC50: Sin datos

Parte 12: Datos ecológicos

No hay datos sobre esta parte

Parte 13: Eliminación de residuos

Método de eliminación de residuos naturales: Consulte las regulaciones nacionales y locales pertinentes antes de su eliminación. Si es posible, recicle.

Parte 14: Información de envío

Número de mercancías peligrosas: Sin información

Categoría de embalaje: Z01

Precauciones de transporte: El embalaje debe estar completo y la carga debe ser segura. Durante el transporte, asegúrese de que el contenedor no tenga fugas, colapse, se caiga o se dañe. Está estrictamente prohibido mezclar y transportar con oxidantes, halógenos, productos químicos comestibles, etc. Durante el transporte, debe protegerse de la exposición al sol, la lluvia y las altas temperaturas. El vehículo debe limpiarse a fondo después del transporte.

Parte 15: Información regulatoria

Información reglamentaria: Reglamento sobre la gestión de la seguridad de las mercancías químicas peligrosas (publicado por el Consejo de Estado el 17 de febrero de 1987), Reglamento de aplicación del Reglamento sobre la gestión de la seguridad de las mercancías químicas peligrosas (Hua Lao Fa [1992] N° 677), Reglamento sobre el uso seguro de productos químicos en el lugar de trabajo ([1996] Departamento de Trabajo Fa N° 423) y otros reglamentos, que establecen las disposiciones correspondientes sobre el uso, la producción, el almacenamiento, el transporte, la carga y la descarga seguros de mercancías químicas peligrosas. La norma higiénica para el tungsteno en el aire del taller (GB 16229-1996) especifica la concentración máxima permitida y el método de detección de la sustancia en el aire del taller.

Parte 16: Información del proveedor

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Proveedor: CTIA GROUP LTD
Teléfono: 0592-5129696/5129595



Capítulo 5 Usos y pautas de aplicación de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

5.1 Visión general de los principales usos de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras tienen una amplia gama de aplicaciones en múltiples campos industriales debido a sus excelentes capacidades de emisión de electrones, estabilidad del arco y propiedades no radiactivas. Sus principales usos abarcan la soldadura, el corte, la pulverización térmica, las fuentes de luz eléctrica y los campos electroquímicos y de nueva energía emergentes. A continuación se explica detalladamente los principales escenarios de aplicación:

Soldadura: Los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras son los materiales centrales para la soldadura blindada con gas inerte (soldadura TIG), la soldadura por plasma y otros procesos. Su trabajo de bajo escape de electrones y su alta estabilidad de arco lo hacen adecuado para soldaduras de alta precisión, como soldadura de placas delgadas en componentes aeroespaciales, equipos de energía nuclear y fabricación de automóviles. Los electrodos que contienen óxido de lantano y óxido de cerio funcionan bien en la soldadura de CA y CC con alta calidad de soldadura y baja porosidad.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Corte: En el corte por plasma, los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se utilizan ampliamente debido a su resistencia a altas temperaturas y resistencia al desgaste. Los electrodos que contienen óxido de itrio y circonio permanecen estables bajo arcos de plasma de alta temperatura, lo que los hace adecuados para cortar acero inoxidable, aleaciones de aluminio y superaleaciones, y se utilizan ampliamente en la construcción naval y maquinaria pesada.

Pulverización térmica: Los electrodos compuestos se utilizan en procesos de pulverización de plasma para rociar recubrimientos resistentes al desgaste o a la corrosión en la superficie de los componentes mecánicos. Su alto punto de fusión y resistencia a la oxidación garantizan la estabilidad durante la pulverización y se utilizan en palas de motores aeronáuticos, equipos de perforación petrolera, etc.

Fuente de luz eléctrica: En el campo de la fuente de luz eléctrica, los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se utilizan como cátodos o filamentos para lámparas de descarga de gas de alta intensidad (como lámparas de xenón y lámparas de mercurio). Sus excelentes propiedades de emisión de electrones prolongan la vida útil de las lámparas y mejoran la eficiencia luminosa, y son ampliamente utilizadas en equipos de proyección e iluminación médica.

Nueva energía y electroquímica: Los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se utilizan como materiales de electrodos o recubrimientos conductores en baterías de iones de litio, celdas de combustible y electrolizadores, lo que mejora la densidad de energía y el ciclo de vida. Además, sus aplicaciones en el campo de la electrocatalisis (como la producción de hidrógeno por electrólisis del agua) están emergiendo, y la actividad catalítica de los óxidos de tierras raras mejora la eficiencia de la reacción.

Los diversos usos de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se benefician de sus proporciones de tierras raras personalizables y microestructuras optimizadas, lo que les permite satisfacer las necesidades de rendimiento de diferentes industrias. El análisis del mercado global muestra que su consumo anual ha superado las 1.600 toneladas y se espera que continúe creciendo en los próximos cinco años, especialmente en los campos de la fabricación ecológica y la alta tecnología.

5.2 Tipos de soldadura aplicables a electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras son adecuados para una variedad de tipos de soldadura y sus ventajas de rendimiento son sobresalientes en diferentes procesos. Los siguientes son los principales tipos y características de la soldadura:

Soldadura con gas inerte de tungsteno (soldadura TIG/GTAW): La soldadura TIG es el campo más utilizado de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras. Los electrodos que contienen óxido de cerio, como WC20, exhiben excelentes propiedades de arco en soldadura de polaridad positiva de CC (DCSP), lo que los hace adecuados para acero inoxidable, acero al carbono y aleaciones de níquel. Los electrodos que contienen óxido de lantano, como WL20, tienen una alta estabilidad de arco en soldadura de corriente alterna (CA) y son adecuados para aleaciones de

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

aluminio y magnesio, lo que reduce la deriva del arco y las soldaduras suaves.

Soldadura por plasma (PAW): La soldadura por plasma requiere que el electrodo permanezca estable a altas temperaturas y corrientes. Los electrodos compuestos que contienen óxido de itrio y zirconia, como WLaCeY, son adecuados para la soldadura por plasma de alta precisión, como los de las estructuras de paredes delgadas en la industria aeroespacial, debido a su resistencia al desgaste y larga vida útil. La punta del electrodo tiene una baja tasa de desgaste bajo arcos de plasma a alta temperatura y una vida útil de 500 a 800 horas.

Soldadura con protección de gas inerte de metal (soldadura MIG) asistida: En la soldadura MIG, los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se utilizan ocasionalmente como electrodos auxiliares para estabilizar la soldadura por arco o materiales especiales. Su alta eficiencia de emisión de electrones reduce el voltaje de arranque del arco, lo que lo hace adecuado para líneas de producción automatizadas.

Asistencia de soldadura por puntos de resistencia: En ciertos procesos de soldadura por puntos de alta precisión, el electrodo compuesto sirve como cabezal del electrodo, proporcionando una transmisión de corriente estable y reduciendo las salpicaduras, lo que lo hace adecuado para la fabricación de componentes electrónicos.

Procesos de soldadura especiales: como la soldadura por plasma por microhaz y la soldadura compuesta por láser-TIG, el electrodo compuesto mejora la calidad de la soldadura al optimizar la concentración del arco. Los electrodos que contienen óxido de lantano y óxido de cerio tienen voltajes de arco tan bajos como 25 V en microsoldadura y son adecuados para soldadura de placa delgada (< 0,5 mm).

Los diferentes tipos de soldadura tienen diferentes requisitos de rendimiento para los electrodos, y los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras satisfacen diversas necesidades ajustando la relación de tierras raras (por ejemplo, óxido de cerio: óxido de lantano = 1:1). Los experimentos muestran que la estabilidad del arco en la soldadura TIG es superior al 95% y la precisión del control de la profundidad de penetración aumenta en un 20%, lo que es significativamente mejor que la del electrodo de tungsteno puro.

5.3 Casos de aplicación industrial de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras han demostrado un valor de aplicación significativo en múltiples industrias, incluidos los siguientes casos específicos:

Aeroespacial: En la fabricación de aviones, los electrodos que contienen óxido de lantano y óxido de itrio, como WLaCeY, se utilizan para la soldadura TIG de aleaciones y superaleaciones de titanio. Por ejemplo, un proyecto de soldadura de palas de motores aeronáuticos utiliza electrodos WL20 con una corriente de 150 a 200 A, una resistencia a la tracción de la soldadura de 900 MPa y una porosidad de menos del 0,1%, cumpliendo con estrictos estándares de aviación.

Fabricación automotriz: Los electrodos compuestos se utilizan ampliamente en la soldadura de

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

componentes de baterías de vehículos eléctricos. El electrodo (WC20) que contiene óxido de cerio se utiliza para la soldadura TIG de carcasas de baterías de aleación de aluminio con una corriente de 50 a 100 A, una superficie de soldadura lisa y un aumento del 10% en el ciclo de vida. Un fabricante de automóviles mejoró la eficiencia de soldadura en un 15% y redujo los costos de producción en un 8% mediante el uso de electrodos compuestos.

Industria de la energía nuclear: La soldadura de recipientes a presión de reactores nucleares requiere una alta resistencia a la corrosión y una larga vida útil. El electrodo compuesto que contiene zirconia funcionó bien en soldadura por plasma, soldando tubos de acero inoxidable 304 con una profundidad de penetración controlada de 3 a 5 mm, sin grietas en la soldadura y un aumento del 20% en la resistencia a la corrosión.

Construcción naval: En el corte por plasma, los electrodos que contienen óxido de itrio se utilizan para cortar placas de acero de alta resistencia con una velocidad de corte de hasta 1 m/min, lo que prolonga la vida útil del electrodo en un 30% y reduce la frecuencia de reemplazo. Un astillero utiliza electrodos WLaCeY, lo que mejora la precisión de corte en un 10% y reduce el desperdicio de material.

Industria electrónica: En la fabricación de equipos de semiconductores, los electrodos compuestos se utilizan para la soldadura por plasma de microhaz para conectar componentes de cobre y aluminio. El electrodo que contiene óxido de cerio es estable al arco a baja corriente (<30 A) y el diámetro de la junta de soldadura se controla dentro de 0,1 mm para cumplir con los requisitos del empaque de chips.

Nuevo campo de energía: Los electrodos compuestos se utilizan como sustratos de recubrimiento conductor en la fabricación de electrodos de baterías de litio, y los electrodos que contienen óxido de lantano mejoran el ciclo de vida de la batería a más de 5.000 veces. Una empresa fotovoltaica utiliza electrodos compuestos para cortar obleas de silicio con una rugosidad superficial de $Ra < 0,5$ micras para mejorar la eficiencia del módulo.

Estos casos muestran que los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras satisfacen las necesidades de la industria a través de un rendimiento personalizado, impulsando el desarrollo de la fabricación de alta precisión.

5.4 Parámetros recomendados del proceso de soldadura de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

La selección de los parámetros del proceso de soldadura afecta directamente el rendimiento y la calidad de la soldadura de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras. Los siguientes son los parámetros recomendados para la soldadura TIG y por plasma, que cubren diferentes materiales y tipos de electrodos:

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

4. Packaging and Supply Specifications

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

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

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Parámetros de soldadura TIG:

Tipo de electrodo: WL20 (2% de óxido de lantano), WC20 (2% de óxido de cerio), WLaCeY (compuesto ternario)

Tipo de corriente:

Polaridad positiva de CC (DCSP): adecuado para acero inoxidable, acero al carbono y corrientes de 50 a 250 A

Corriente alterna (CA): Adecuada para aleaciones de aluminio y magnesio, corrientes de 60 a 200 A y frecuencias de 70 a 150 Hz

Diámetro del electrodo: 1,6 a 4,0 mm (1,6 a 2,4 mm para placas delgadas, 3,2 a 4,0 mm para placas gruesas)

Ángulo de punta: 30 a 60 ° (soldadura de precisión 30 °, alta corriente 60 °)

Gas de protección: argón (99,99% de pureza), caudal de 8 a 15 L/min

Tensión de arranque del arco: 25 a 35 V

Velocidad de soldadura: 0,1 a 0,5 m/min

Longitud de extensión del electrodo: 3 a 6 mm

Parámetros de soldadura por plasma:

Tipo de electrodo: WLaCeY, WY20 (2% de óxido de itrio)

Tipo de corriente: Polaridad positiva de CC, corriente de 80 a 300 A

Diámetro del electrodo: 2,4 a 4,8 mm

Ángulo de punta: 45 a 60°

Gas plasma: argón, caudal de 0,5 a 2 L/min

Gas de protección: argón + 5% de hidrógeno, caudal de 10 a 20 L/min

Tensión de arranque del arco: 30 a 40 V

Velocidad de soldadura: 0,2 a 0,8 m/min

Adaptación del material:

Acero inoxidable: WL20, corriente de 100 a 200 A, caudal de argón 10 L/min, ángulo de punta de 45°

Aleación de aluminio: WC20, corriente alterna de 80 a 150 A, frecuencia 100 Hz, caudal de argón 12 L/min

Aleación de titanio: WLaCeY, corriente de 120 a 180 A, ángulo de punta de 30°, mezcla de argón + helio (1:1)

Sugerencia de optimización: Los parámetros deben ajustarse de acuerdo con el grosor de la pieza de trabajo y el equipo de soldadura. Las puntas de los electrodos afiladas y de baja corriente encajan en placas delgadas, lo que reduce las zonas afectadas por el calor; La alta corriente y el gran ángulo de punta son adecuados para placas gruesas y mejoran la profundidad de penetración. El monitoreo en tiempo real de las fluctuaciones de voltaje y corriente del arco garantiza la estabilidad.

5.5 Precauciones para el uso de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

El uso adecuado de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras maximiza su rendimiento

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

y prolonga su vida útil. Aquí hay algunas consideraciones clave:

Selección de electrodos: elija el modelo de acuerdo con el material y el proceso de soldadura, por ejemplo, WL20 es adecuado para soldadura de CA de aleación de aluminio, WC20 es adecuado para soldadura de acero inoxidable de baja corriente y WLaCeY se utiliza para soldadura de aleación de titanio de alta carga.

Rectificado de puntas: La punta del electrodo debe rectificarse en un ángulo adecuado (30 a 60°), utilizando una muela abrasiva de diamante especial para evitar la contaminación. La dirección de molienda es a lo largo de la dirección axial del electrodo y la rugosidad de la superficie $Ra < 0,2$ micras. La soldadura de CA debe rectificarse en una punta hemisférica para reducir el desgaste.

Gas de protección: utilizar argón de alta pureza o mezcla de argón + helio, caudal de 8 a 20 L/min. Verifique la estanqueidad de las tuberías de gas para evitar la contaminación por oxígeno o vapor de agua.

Almacenamiento y transporte: Los electrodos se almacenan en un ambiente seco y ventilado (temperatura de 10 a 25 °C, humedad $< 60\%$) en envases a prueba de humedad. El transporte evita vibraciones severas y evita la flexión de los electrodos o daños en la superficie.

Especificaciones de funcionamiento: Inspeccione la superficie del electrodo antes de soldar para asegurarse de que no haya manchas de aceite u óxidos. Evite el contacto del electrodo con el baño de fusión para evitar la contaminación. Mantenga el electrodo extendido de 3 a 6 mm durante la soldadura para evitar el sobrecalentamiento.

Protección de seguridad: Use gafas y guantes protectores para evitar la radiación del arco y la inhalación de polvo. Asegúrese de que el área de soldadura esté bien ventilada y equipada con un dispositivo de extracción de polvo.

Inspección periódica: Verifique el estado de la punta del electrodo cada 50 horas, vuelva a rectificarla o reemplácela. Registre el tiempo de uso para evitar que el desgaste excesivo afecte la calidad de la soldadura.

Seguir estas consideraciones garantiza un rendimiento estable de los electrodos y reduce las tasas de falla.

5.6 Resolución de problemas comunes con electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Los problemas y soluciones que se pueden encontrar en el uso de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras son los siguientes:

Problema 1: Inestabilidad del arco

Causa: Contaminación de la punta del electrodo, gas de protección insuficiente o fluctuaciones de corriente.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Solución: Limpie la superficie del electrodo, verifique el caudal de gas (8 a 15 L / min) y establezca la potencia de salida. Vuelva a moler la punta a 45 °.

Problema 2: El electrodo se quema rápidamente

Causa: Corriente excesiva, ángulo de punta inadecuado o contaminación por gas.

Solución: Reduzca la corriente al rango recomendado (por ejemplo, de 100 a 200 A), ajuste el ángulo de la punta a 60° y utilice argón de alta pureza.

Problema 3: Hay muchos poros en la soldadura

Causa: Contaminación de electrodos u oxígeno en el gas protector.

Solución: Limpieza ultrasónica del electrodo, comprobando la pureza del gas (>99,99%), aumentando el caudal a 12 L/min.

Problema 4: Dificultad para formar arcos

Causa: Rectificado inadecuado de la punta o envejecimiento del electrodo.

Solución: Vuelva a afilar la punta a 30°, verifique la vida útil del electrodo, reemplácelo si es necesario.

Problema 5: Rotura del electrodo

Causa: Estrés mecánico o defectos internos.

Solución: Verifique la fuerza de sujeción del electrodo (<100 N) y confirme que no haya grietas internas a través de pruebas ultrasónicas.

La resolución de problemas requiere el registro de datos de fallas para optimizar los parámetros del proceso en función de las condiciones de trabajo reales.

5.7 Aplicaciones de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras en campos emergentes

La aplicación de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras en campos emergentes se está expandiendo rápidamente, especialmente en los siguientes campos:

Impresión 3D: En la impresión 3D de metal, los electrodos compuestos se utilizan para la deposición por arco de plasma (PAAM) para proporcionar un arco estable a alta temperatura e imprimir piezas de aleación de alta resistencia. El electrodo que contiene óxido de lantano tiene una estabilidad de arco del 95% y una mejora del 15% en la precisión de impresión al imprimir aleaciones de titanio.

Asistencia de soldadura láser: En la soldadura compuesta láser-TIG, el electrodo compuesto estabiliza el arco y mejora la absorción de energía láser. Los electrodos que contienen óxido de cerio tienen un aumento del 20% en la profundidad de soldadura en la soldadura láser de acero inoxidable, lo que los hace adecuados para componentes automotrices livianos.

Baterías de nueva energía: Los electrodos compuestos sirven como sustratos conductores para baterías de litio y baterías de estado sólido, y los electrodos que contienen óxido de itrio mejoran la

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

vida útil de la batería a 6.000 veces. Una empresa de baterías utiliza electrodos WLaCeY y la conductividad de los electrodos aumenta en un 10%.

Electrocatalisis: En la producción de hidrógeno por electrólisis del agua, el electrodo compuesto actúa como cátodo electrocatalítico, y la actividad catalítica de los óxidos de tierras raras reduce el sobrepotencial en un 20%. El electrodo que contiene óxido de cerio tiene una densidad de corriente de 100 mA/cm² en un electrolito ácido.

Fabricación de micro-nano: en la soldadura por plasma de microhaz, los electrodos que contienen óxido de lantano se utilizan en el empaquetado de chips, y el diámetro de las juntas de soldadura se controla dentro de 50 micras para satisfacer las necesidades de los dispositivos 5G.

Estas aplicaciones emergentes están impulsando la investigación y el desarrollo de electrodos compuestos, que se espera que representen más del 30% de la cuota de mercado en nuevos campos para 2030.

5.8 Análisis de beneficios económicos de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Los beneficios económicos de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se reflejan en una mayor eficiencia de producción, ahorro de costos y mayor competitividad en el mercado.

Eficiencia de producción: el electrodo compuesto tiene una vida útil de 500 a 1000 horas, que es de 2 a 3 veces mayor que la de los electrodos de tungsteno puro (200 a 300 horas), y la frecuencia de reemplazo se reduce en un 20%. En la soldadura TIG, la estabilidad del arco aumenta en un 15%, la velocidad de soldadura aumenta en un 10% y la eficiencia de producción mejora significativamente.

Ahorro de costos: El costo inicial de los electrodos compuestos es más alto que el de los electrodos de tungsteno puro (aproximadamente un 20% más alto), pero la vida útil prolongada reduce el costo total de uso en un 30%. Una planta de fabricación de automóviles utiliza electrodos WL20, lo que ahorra alrededor de \$ 100,000 en costos de mantenimiento por año. La tasa de recuperación de electrodos de desecho alcanza el 85%, lo que reduce aún más los costos de recursos.

Competitividad en el mercado: La naturaleza no radiactiva de los electrodos compuestos cumple con las regulaciones REACH y RoHS, lo que hace que la entrada en los mercados europeos y americanos no tenga barreras. Según el análisis del mercado global, su demanda está creciendo a una tasa anual del 5,8% y se espera que el tamaño del mercado alcance los \$ 1,2 mil millones para 2025.

Estudio de caso: Una empresa de aviación utilizó electrodos WLaCeY para soldar aleaciones de titanio, y la tasa de aprobación de soldadura aumentó del 90% al 98%, y el costo de retrabajo se redujo en un 50%. En la fabricación de baterías de nueva energía, los electrodos compuestos mejoran el rendimiento de la batería y aumentan el valor agregado de los productos en un 15%.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

En general, los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras aportan importantes beneficios económicos a las empresas y promueven la mejora de la industria a través de la optimización del rendimiento y las características ecológicas.



Capítulo 6 Equipo de producción de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

6.1 Equipo de procesamiento de materias primas para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

El equipo de procesamiento de materias primas se utiliza para la preparación de materias primas y la proporción de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras para garantizar una alta pureza y una mezcla uniforme de materiales a base de tungsteno y óxidos de tierras raras. Los siguientes son los principales dispositivos y sus funciones:

Balanzas electrónicas de alta precisión: para el pesaje preciso de trióxido de tungsteno (WO_3) o paratungstato de amonio (APT), así como nitratos de tierras raras (por ejemplo, nitrato de lantano, nitrato de cerio). Con una precisión de 0,001 g y un rango de medición de 0,1 a 10 kg, está equipado con una mesa antivibración y blindaje electrostático para garantizar un pesaje preciso.

Sistema de preparación de soluciones: para la preparación de soluciones de nitrato de tierras raras, incluido el tanque de agitación de acero inoxidable (capacidad de 50 a 500 L), medidor de pH (precisión $\pm 0,01$) y baño de agua termostático (control de temperatura de 40 a 80 °C). La velocidad

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

de agitación de 200 a 500 rpm garantiza una solución uniforme. El sistema debe estar equipado con un generador de agua desionizada con una pureza $> 18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$.

Secador por pulverización: Mezcle la solución de nitrato de tierras raras con polvo de tungsteno y séquela para producir polvo dopado. Parámetros del equipo: temperatura del aire de entrada de 150 a 250 °C, velocidad de pulverización de 0,5 a 2 L/min, vacío de la cámara de secado 10^{-1} Pa .

Máquina de cribado vibratorio: se utiliza para cribar polvo seco y eliminar partículas aglomeradas. La criba tiene una criba de malla de 200 a 400, una frecuencia de vibración de 1000 a 2000 veces/min y una capacidad de procesamiento de 100 a 500 kg/h. Equipado con cubierta antipolvo y conexión a tierra electrostática para evitar la contaminación por polvo.

Equipos de control de calidad: incluyendo espectrómetro de fluorescencia de rayos X (XRF, detección de contenido de impurezas $<0,01\%$) y analizador láser de tamaño de partícula (determinación de D50 en 1 a 5 micras). Estos dispositivos garantizan que la pureza de las materias primas y la distribución de partículas cumplan con los requisitos.

Características y mantenimiento: El equipo de procesamiento de materias primas debe ser resistente a la corrosión (acero inoxidable o aleación de titanio), y el tanque de mezcla y la boquilla deben limpiarse regularmente para evitar la contaminación cruzada. El mantenimiento incluye calibrar el equilibrio (una vez al mes) y verificar la eficiencia térmica del secador por pulverización (una vez al trimestre).

La alta precisión y limpieza del equipo de manejo de materias primas proporciona polvo de alta calidad para procesos posteriores, sentando las bases para el rendimiento.

6.2 Equipos de reducción y dopaje para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

El equipo de reducción y dopaje se utiliza para convertir el trióxido de tungsteno en polvo de tungsteno de alta pureza y completar el dopaje de óxidos de tierras raras, con un horno de reducción de hidrógeno y un sistema de dopaje en su núcleo.

Horno tubular de reducción de hidrógeno: utilizado para la reducción en dos etapas, la primera etapa (500 a 600 °C) genera WO_2 y la segunda etapa (800 a 950 °C) produce polvo de tungsteno. El cuerpo del horno está hecho de acero inoxidable de alta temperatura o aleación de molibdeno, con una longitud de 2 a 5 metros y un diámetro interior de 0,5 a 1 metro. Caudal de hidrógeno de 0,5 a 1,5 m^3/h , pureza 99,99%. Equipado con un termómetro infrarrojo (precisión $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) y un analizador de gases (contenido de oxígeno $<0,01\%$).

Horno reductor de campana: Adecuado para producción de alto volumen, con una capacidad de 100 a 1000 kg / lote, control de temperatura de 500 a 1000 °C y un vacío de 10^{-2} Pa . Equipado con un sistema de medición de temperatura multipunto para garantizar la uniformidad de la temperatura $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$. Los sistemas de circulación de hidrógeno recuperan los gases no reaccionados, reduciendo los costos.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Equipo de dopaje: El molino planetario se utiliza para la aleación mecánica, el refinado del polvo y el dopaje uniforme de óxidos de tierras raras. Parámetros: 400 a 600 rpm, relación de granulación 8:1, tiempo de molienda de 8 a 12 horas. El tanque y el medio del molino de bolas son de carburo para evitar la contaminación.

Equipos auxiliares: incluido el sistema de purificación de gases (eliminación de vapor de agua e impurezas) y la unidad de tratamiento de gases de escape (combustión catalítica de gases de escape de hidrógeno). Los analizadores láser de tamaño de partículas y SEM se utilizan para detectar el tamaño de partícula de polvo (1 a 5 micras) y la topografía.

Mantenimiento y seguridad: Verifique regularmente la estanqueidad del horno (una vez al mes), calibre el sistema de medición de temperatura (una vez al trimestre). El sistema de hidrógeno debe estar equipado con detectores de fugas y dispositivos de ventilación a prueba de explosiones para garantizar un funcionamiento seguro. El funcionamiento eficiente del equipo de reducción y dopaje garantiza la calidad del polvo y sienta las bases para el moldeo posterior.

6.3 Equipos de conformado para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

El equipo de formación presiona el polvo de tungsteno dopado en una pieza en bruto, lo que garantiza una densidad uniforme y estabilidad estructural. Los siguientes son los equipos principales:

Prensa isostática en frío (CIP): Aplica una presión uniforme (100 a 300 MPa) a través de un medio líquido para presionar la densidad del cuerpo hasta un 60% a 70% de densidad teórica. El equipo tiene una capacidad de 50 a 500 L y está equipado con una bomba de alta presión y un sensor de presión con una precisión $\pm 0,5$ MPa.

Máquina de moldeo hidráulico: utiliza un molde de acero rígido con una presión de 150 a 200 MPa, adecuado para la producción de lotes pequeños. El tiempo de prensado es de 5 a 10 minutos, equipado con un sistema de alimentación automático, y el rendimiento es de 50 a 200 kg/h.

Máquina formadora de lodos: se utiliza para electrodos de formas complejas, mezclando polvo con aglutinante (0,5% a 1% de alcohol polivinílico) en una suspensión, inyectándolo en el molde para su curado. El equipo contiene una bomba de jeringa de precisión (precisión de flujo $\pm 0,1$ ml/min) y un sistema de desgasificación al vacío. La temperatura de la cámara de secado se controla de 25 a 80 °C para evitar el estrés térmico.

Equipo de control de calidad: El detector ultrasónico comprueba los defectos internos del cuerpo (resolución 0,1 mm), el densímetro de Arquímedes mide la densidad (precisión $\pm 0,01$ g/cm³). El sistema de inspección visual garantiza que la desviación dimensional del cuerpo $<$ de 0,1 mm.

Mantenimiento y optimización: Limpiar el molde regularmente (una vez a la semana), calibrar el sensor de presión (una vez al mes). Optimice los parámetros de conformado a través de la simulación de elementos finitos para reducir el gradiente de densidad. La alta precisión del equipo de conformado garantiza la calidad del cuerpo y proporciona una base confiable para la sinterización.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

4. Packaging and Supply Specifications

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

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

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

6.4 Equipos de sinterización para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

El equipo de sinterización se utiliza para densificar el cuerpo para formar un material de electrodo de alta densidad y alta resistencia. Los siguientes son los equipos principales:

Horno de sinterización por prensado en caliente al vacío: sinterizado a 1600 a 1800 °C, 50 a 80 MPa, grado de vacío 10^{-3} Pa. El cuerpo del horno adopta un cuerpo calefactor de grafito, equipado con un termómetro infrarrojo (precisión ± 2 °C) y una bomba de vacío. La velocidad de calentamiento se controla en secciones (10 °C / min a 1000 °C, 4 °C / min a la temperatura objetivo) y se mantiene caliente durante 60 a 90 minutos.

Horno de sinterización por plasma de chispa (SPS): Calentamiento rápido (100 a 200 °C/min) mediante corriente pulsada, temperatura de sinterización de 1400 a 1600 °C, presión de 30 a 50 MPa, temperatura de mantenimiento durante 5 a 10 minutos. Es adecuado para nanopulvos y reduce la volatilización de tierras raras. Equipado con un controlador de corriente de alta precisión (1000 a 2000 A).

Horno de sinterización vertical: 90% de corriente de fusión, temperatura superior a 3000 °C, la atmósfera es argón o hidrógeno. Adecuado para electrodos de gran diámetro, equipado con un sistema de sujeción de electrodos refrigerado por agua y monitor de corriente.

Equipos auxiliares: horno de pre-sinterización (1200°C, vacío o atmósfera de hidrógeno) para eliminar ligantes, equipado con un sistema de circulación de gas. SEM y XRD analizaron la microestructura post-sinterizada para confirmar el tamaño de grano (5 a 10 μ m) y la distribución de tierras raras.

Mantenimiento y seguridad: Revise regularmente la bomba de vacío (una vez al mes), calibre el sistema de medición de temperatura (una vez al trimestre). El horno de sinterización debe estar equipado con un sistema de circulación de agua de enfriamiento para evitar el sobrecalentamiento. La función de sinterización rápida de los equipos SPS aumenta la eficiencia en un 30% y reduce el consumo de energía en un 20%.

6.5 Equipos de procesamiento para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

El equipo de procesamiento procesa el cuerpo sinterizado en varillas de electrodo para mejorar la densidad y la calidad de la superficie. El equipo principal incluye:

Máquina de forja rotativa: el diámetro del cuerpo (20 a 3 mm) se reduce mediante un martillo perforador y la tasa de deformación es del 20% al 30% por pasada. La temperatura de procesamiento es de 800 a 1200 °C, equipada con un sistema de alimentación automática y un termómetro infrarrojo.

Máquina de trefilado: Estirando la barra mediante una matriz de metal duro para reducir el diámetro de 0,5 a 10 mm. Velocidad de extracción de 0,5 a 2 m/min y lubricado con emulsión de grafito (coeficiente de fricción $< 0,1$). Máquina de tracción de cadena para producción continua.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Máquinas enderezadoras y separadoras: Las enderezadoras de rodillos garantizan una desviación de rectitud de $< 0,1$ mm/m, y las máquinas de tronzado láser controlan longitudes de 150 a 175 mm (tolerancia $\pm 0,5$ mm). Equipado con un sistema de inspección por visión para monitorear la calidad de la superficie.

Equipo de control de calidad: Medidor de rugosidad superficial ($Ra < 0,5$ micras) y detector de defectos ultrasónico para detectar defectos internos. La medición dimensional se realiza mediante un telémetro láser (precisión $\pm 0,01$ mm).

Mantenimiento y optimización: Cambie el molde regularmente (cada 1000 horas), revise el sistema de lubricación (una vez a la semana). La simulación de elementos finitos optimiza los parámetros de deformación y el rendimiento alcanza más del 98%. Los equipos de procesamiento automatizado mejoran la eficiencia en un 30%.

6.6 Equipos de tratamiento de superficies para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

El equipo de tratamiento de superficies se utiliza para pulir, limpiar y recubrir para mejorar la resistencia a la corrosión de los electrodos y el rendimiento de la emisión de electrones.

Pulidora mecánica: utilizando abrasivos de alúmina (malla 2000), puliendo electrodos a rugosidad $Ra < 0,2$ micras. Equipado con un cabezal de pulido multieje con una capacidad de procesamiento de 100 a 500 piezas/hora.

Pulidora electroquímica: Pulido en una solución mixta de ácido sulfúrico y ácido fosfórico, densidad de corriente de $0,5$ a 1 A/cm², tiempo de tratamiento de 5 a 10 minutos. Equipado con fuente de alimentación de corriente constante y sistema de recuperación de líquidos residuales.

Limpiador ultrasónico: utiliza una solución alcalina (pH 8 a 10) a una frecuencia de 40 kHz, una temperatura de 50 a 60 °C y un tiempo de limpieza de 5 a 10 minutos. Equipado con un tanque de enjuague de agua desionizada y un sistema de secado por aire caliente.

Equipo de deposición química de vapor (CVD): Se aplican óxidos de tierras raras o recubrimientos cerámicos (por ejemplo, La_2O_3 , ZrO_2), las temperaturas son de 800 a 1000 °C, el vacío es de 10^{-2} Pa y la tasa de deposición es de $0,1$ μ m/min.

Mantenimiento y protección del medio ambiente: Limpie los discos de pulido y los tanques de lavado con regularidad (una vez a la semana), calibre la densidad actual (una vez al mes). Los agentes de limpieza a base de agua reducen las emisiones de COV y el líquido residual recupera las tierras raras mediante intercambio iónico, con una tasa de recuperación del 90%.

6.7 Equipos auxiliares para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Los equipos auxiliares respaldan procesos de producción fluidos y control de calidad, que incluyen:

Horno de secado al vacío: para secado de polvo y cuerpo, temperatura de 80 a 150 °C, grado de

vacío 10^{-1} Pa. Modelo recomendado: horno de secado German Binder.

Sistema de purificación de gases: elimina el vapor de agua y las impurezas del hidrógeno con una pureza del 99,999%. Equipado con tamiz molecular y condensador, rendimiento de 1 a 5 m³/h.

Unidad de tratamiento de gases de escape: combustión catalítica de gases de escape de hidrógeno, equipada con analizador de gases de escape (la emisión cumple con las normas ambientales).

Equipo de inspección de calidad: incluye difractómetro de rayos X (XRD, para analizar la estructura cristalina), microscopio electrónico de barrido (SEM) para observar la morfología microscópica y probador de potencia de escape de electrones (precisión $\pm 0,01$ eV).

Sistema de gestión de datos: Integre sensores y PLC para registrar parámetros de proceso en tiempo real y generar informes de calidad.

Los equipos auxiliares garantizan la continuidad de la producción y la trazabilidad de la calidad, reduciendo las tasas de defectos.

6.8 Pautas de selección y mantenimiento para equipos compuestos de electrodos de tungsteno de tierras raras

Guía de selección:

Manejo de materias primas: Elija balanzas de alta precisión (0,001 g) y secadores por pulverización (tamaño de partícula de 1 a 5 micras) para la producción en masa.

Reducción y dopaje: Los hornos de reducción tubulares son adecuados para lotes pequeños y medianos, los hornos de campana son adecuados para lotes grandes y el molino de estrella garantiza un dopaje uniforme.

Formación: la prensa isostática en frío es adecuada para espacios en blanco de alta precisión, la máquina de moldeo es adecuada para lotes pequeños y la máquina formadora de lechada es adecuada para formas complejas.

Sinterización: Los hornos SPS son adecuados para nanopolvos, los hornos de prensado en caliente son adecuados para la producción regular y los hornos verticales son adecuados para electrodos de gran diámetro.

Procesamiento y tratamiento de superficies: Las máquinas de forja rotativas y las máquinas de dibujo deben estar altamente automatizadas, y el equipo CVD mejora el rendimiento del recubrimiento.

Pautas de mantenimiento:

Mantenimiento regular: verifique la estanqueidad del equipo y la precisión del sensor todos los meses, calibre el sistema de medición de temperatura trimestralmente y reemplace las piezas desgastadas (como moldes, discos de pulido) cada seis meses.

Mantenimiento preventivo: Utilice analizadores de vibraciones para detectar el estado operativo de los equipos y evitar fallas. El sistema de lubricación se revisa semanalmente para mantener un coeficiente de fricción de $< 0,1$.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Registro y optimización: Establezca registros de mantenimiento para registrar averías y tiempos de reparación. Combinado con IA para analizar los datos de operación del equipo, optimizar los ciclos de mantenimiento y extender la vida útil del equipo en un 20%.

6.9 Diseño e integración de una línea de producción automática para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Las líneas de producción automatizadas integran varios procesos para mejorar la eficiencia y la consistencia. Los puntos de diseño e integración son los siguientes:

Diseño de la línea de producción:

Área de procesamiento de materias primas: balanza electrónica, sistema de preparación de soluciones, secador por pulverización, cubriendo un área de 50 m².

Área de reducción y dopaje: horno de reducción tubular, molino planetario, equipado con sistema de circulación de gas, que cubre un área de 100 m².

Área de formación y sinterización: prensa isostática en frío, horno SPS, con una superficie de 80 m².

Área de mecanizado y tratamiento de superficies: forja rotativa, trefiladora, equipo CVD, con una superficie de 60 m².

Área de inspección y envasado: SEM, XRD, envasadora automática, 30 m².

Sistema de automatización:

Control PLC: Siemens S7-1500 controla los parámetros del proceso, integra sensores (temperatura, presión, flujo) y monitorea en tiempo real.

Manejo de robots: Adopte un brazo robótico de seis ejes (como ABB IRB 6700) para manipular espacios en blanco y productos terminados, aumentando la eficiencia en un 30%.

Gestión de datos: el sistema MES registra datos de producción, genera informes de calidad y admite la trazabilidad.

Beneficios de integración: Las líneas de producción automatizadas acortan los ciclos de producción en un 20% y aumentan los rendimientos al 98%. El consumo de energía se reduce en un 15%, los costos laborales se reducen en un 40%.

6.10 Equipos de seguridad y medidas de protección para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Los equipos de seguridad y las medidas de protección garantizan la seguridad del proceso de producción y reducen el riesgo de accidentes.

Equipo de seguridad:

Detector de fugas de hidrógeno: detecta una concentración inferior al 0,1%, emite automáticamente alarmas y corta la fuente de gas. Modelo recomendado: Detector alemán Dräger.

Sistema de ventilación a prueba de explosiones: volumen de aire de 5000 m³/h para evitar la acumulación de hidrógeno, equipado con control de conversión de frecuencia.

Sistema de prevención y control de incendios: extintor de polvo seco y caja de almacenamiento de

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

arena para hacer frente a incendios de equipos de alta temperatura.

Sistema de control de polvo: unidad de extracción de polvo de presión negativa con concentración de polvo $< 10 \text{ mg/m}^3$ y filtro de alta eficiencia.

Medidas de protección:

Protección del personal: Los operadores usan máscaras antipolvo (nivel FFP3), gafas protectoras y guantes para altas temperaturas. Se instala una pantalla de protección contra arco en el área de soldadura.

Protección del equipo: El horno de sinterización y el equipo de procesamiento están equipados con botones de parada de emergencia y el recipiente a presión se inspecciona regularmente (una vez al año).

Monitoreo ambiental: monitoreo en tiempo real de la temperatura del taller ($< 30^\circ \text{C}$), la humedad ($< 60\%$) y la concentración de gas para garantizar un entorno seguro.

Capacitación y emergencias: Los operadores reciben capacitación en seguridad de hidrógeno y operación de equipos (trimestralmente). Formule planes de emergencia, realice simulacros regulares (como evacuación en caso de incendio) y asegúrese de que el tiempo de respuesta al accidente sea de < 5 minutos.

Los equipos de seguridad y las medidas de protección cumplen con las normas OSHA e ISO 45001 para garantizar la seguridad de la producción y la salud de los empleados.



Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Capítulo 7 Normas nacionales y extranjeras para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

7.1 Normas nacionales para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Como uno de los principales países con recursos de tierras raras y uno de los principales productores de electrodos de tungsteno en el mundo, China está a la vanguardia de la estandarización de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras. Estos estándares no solo estandarizan los indicadores técnicos, los procesos de fabricación y el control de calidad de los productos, sino que también enfatizan los requisitos de protección ambiental y seguridad para satisfacer las necesidades del desarrollo industrial nacional. El sistema de normas nacionales se basa principalmente en normas nacionales (GB/T), complementadas por normas industriales (YS/T, JB/T) y normas locales/empresariales, formando un marco normativo multinivel. A continuación se detallan las principales normas nacionales:

GB / T 4190-2017 "Electrodo de tungsteno": Este es el estándar nacional central en el campo de los electrodos de tungsteno en China, aplicable a todos los electrodos de tungsteno no fundidos, incluidos los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, utilizados principalmente en soldadura blindada con gas inerte de tungsteno (soldadura TIG), soldadura y corte por plasma y otros campos. La norma divide los electrodos en tres categorías: tungsteno puro, tungsteno de tierras raras individuales y tungsteno compuesto de tierras raras, y define los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras como la adición de dos o más óxidos de tierras raras (como el óxido de lantano La_2O_3 , el óxido de cerio CeO_2 , el óxido de itrio Y_2O_3 , etc.). La norma especifica los requisitos de composición química, como un contenido de óxido de lantano entre el 0,5% y el 2,2%, óxidos totales de tierras raras de no más del 4% y una pureza de la matriz de tungsteno de no menos del 99,95%. Además, la norma tiene tolerancias estrictas para las dimensiones físicas: los diámetros varían de 0,5 mm a 10 mm, las tolerancias $\pm 0,05$ mm; Longitudes de 150 mm a 175 mm, tolerancias ± 1 mm. En términos de rendimiento, se requiere que el electrodo tenga una potencia de escape de electrones inferior a 2,5 eV, una estabilidad de arco superior al 95% y se especifican estándares de calidad de la superficie (por ejemplo, sin grietas, sin incrustaciones, rugosidad $R_a < 0,2$ micras). La norma también incluye métodos de inspección como la espectroscopia de emisión de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) para análisis químicos y propiedades mecánicas determinadas por el durómetro Vickers. La formulación de esta norma se refiere a la norma internacional ISO 6848, pero presta más atención a la utilización local de recursos de tierras raras de China y a los principios de fabricación ecológica.

YS/T 231-2007 "Electrodos de tungsteno de tierras raras": Como estándar de la industria para metales no ferrosos, este estándar se dirige específicamente a los electrodos de tungsteno dopados con tierras raras, incluidos los tipos de tierras raras compuestas, adecuados para campos de soldadura, corte y fuentes de luz eléctrica. La norma hace hincapié en las aplicaciones de compuestos multielemento de óxidos de tierras raras, como la especificación de un contenido total de tierras raras del 1% al 3% para compuestos binarios (como combinaciones de óxido de cerio y óxido de lantano) y del 1,5% al 3,5% para compuestos ternarios (como el óxido de cerio, el óxido de lantano y el óxido de itrio). El método de prueba de estabilidad del arco se describe en detalle en

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

la sección de prueba de rendimiento: en un entorno de soldadura TIG simulado, la corriente es de 100 A a 200 A y se registra la volatilidad del arco (<5% requerido); La prueba de vida útil del arco requiere soldadura continua a 200 A CC durante no menos de 500 horas. El estándar también requiere microestructura: el tamaño de grano se controla de 5 a 10 micras y la distribución uniforme de las partículas de óxido de tierras raras se observa mediante microscopía electrónica de barrido (SEM). La norma se publicó en 2007 y posteriormente se revisó para tener en cuenta las aplicaciones emergentes, como los electrodos de batería de nueva energía, la adición de indicadores de prueba de fatiga a alta temperatura y anticontaminación.

JB / T 12871-2016 "Condiciones técnicas para electrodos de tungsteno para soldadura": Este estándar de la industria de maquinaria se centra en electrodos de tungsteno para aplicaciones de soldadura, incluidas las condiciones técnicas y las reglas de inspección para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras. La norma especifica los requisitos de embalaje, transporte y almacenamiento de los electrodos, como que el embalaje debe ser a prueba de humedad, a prueba de colisiones y utilizar bolsas selladas al vacío; Evite las altas temperaturas y la alta humedad durante el transporte. Los indicadores de calidad incluyen la porosidad de la soldadura inferior al 0,1% y la resistencia a la tracción de la soldadura no inferior al 90% del sustrato. La norma también introduce pruebas de confiabilidad, como una degradación del rendimiento del 5% después del almacenamiento en un entorno de alta humedad (90% HR< Esta norma se aplica tanto a los fabricantes como a los usuarios de equipos de soldadura, proporcionando un proceso de aceptación detallado que incluye inspección visual, medición dimensional y pruebas de muestreo de rendimiento.

Otras normas: Las normas locales, como la norma local de Shanghai DB31/T 1234-2020, estipulan la optimización de las proporciones de tierras raras para electrodos multicompuestos (por ejemplo, óxido de cerio: óxido de lantano: óxido de itrio = 1:1:3) y aumentan los requisitos de dopaje de nanotierras raras. El estándar empresarial amplía las métricas de rendimiento basadas en GB/T 4190 y es adecuado para aplicaciones de aviación de alta gama. Estos estándares forman un sistema complementario y promueven la industrialización de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras.

El estándar nacional se caracteriza por centrarse en la transformación de la protección ambiental, prohibir el uso de electrodos radiactivos de tungsteno de torio y acoplarse a las regulaciones nacionales de gestión de tierras raras, enfatizando el reciclaje de recursos. Las actualizaciones estándar generalmente se realizan cada 5 a 7 años para incorporar nuevas tecnologías, como pruebas asistidas por IA y procesos de preparación ecológica.

7.2 Normas internacionales para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Los estándares internacionales proporcionan especificaciones técnicas unificadas y puntos de referencia de calidad para el comercio, la fabricación y la aplicación globales de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, y son formulados principalmente por organizaciones como la Organización Internacional de Normalización (ISO), la Sociedad Estadounidense de Soldadura (AWS), el Comité Europeo de Normalización (CEN) y la Encuesta de Estándares Industriales de

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Japón (JISC). Estos estándares enfatizan la consistencia del desempeño, los requisitos ambientales y la compatibilidad internacional, promoviendo la estabilidad en las cadenas de suministro transfronterizas. A continuación, se presenta un análisis detallado de los principales estándares internacionales:

ISO 6848:2015 "Soldadura y corte por arco - electrodos de tungsteno no consumibles - Clasificación": Como norma de clasificación internacional para electrodos de tungsteno, esta norma se aplica a los electrodos de tungsteno no fundidos, incluidos los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, para procesos de soldadura y corte por arco. La norma clasifica los electrodos como WP (tungsteno puro), WT (torio de tungsteno, restringido), WL (óxido de lantano de tungsteno), WC (óxido de cerio de tungsteno), WY (óxido de itrio de tungsteno) y EWG (tungsteno compuesto de tierras raras). Para los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, el estándar se define como un electrodo que contiene dos o más óxidos de tierras raras con un contenido total de tierras raras del 0,5% al 4%, como WL20 (que contiene del 1,8% al 2,2% La_2O_3). Las especificaciones físicas incluyen diámetros de 0,5 mm a 10 mm (tolerancia $\pm 0,05$ mm) y longitudes de 50 mm a 175 mm (tolerancia ± 1 mm). Los requisitos de rendimiento incluyen una potencia de escape de electrones inferior a 2,5 eV, un voltaje de arranque de arco inferior a 35 V y una vida útil del arco de no menos de 500 horas a una corriente de 150 A. La norma también especifica los requisitos de tratamiento de superficies (como el espesor de la capa pulida o de óxido < 5 micras) y las especificaciones del embalaje (resistencia a la humedad y a los golpes). Los métodos de inspección incluyen análisis de composición química (ICP-OES) y pruebas de rendimiento del arco (la fotografía de alta velocidad registra la estabilidad del arco). La norma se revisó en 2015 con referencia a la regulación REACH de la UE, enfatizando la promoción de alternativas radiactivas a los electrodos de tungsteno de torio.

AWS A5.12M/A5.12:2009 (R2017) Especificación para electrodos de tungsteno dispersos de tungsteno y óxido para soldadura y corte por arco: El estándar de la Sociedad Estadounidense de Soldadura es la especificación autorizada en el campo de la soldadura, que está altamente coordinada con ISO 6848 pero se enfoca más en el rendimiento real de la soldadura. La norma clasifica los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras como serie EWG, estipulando que el contenido de óxidos de tierras raras (como La_2O_3 , CeO_2 , Y_2O_3) tiene una precisión del 0,1% y el contenido total no supera el 4%. Por ejemplo, EWC-2 (con 2% de óxido de cerio) requiere un tiempo de inicio de arco de $< 0,1$ segundos y una estabilidad de arco $> 90\%$ en soldadura de polaridad positiva de CC (DCSP). La norma tiene requisitos detallados para el rendimiento a altas temperaturas: a una corriente de 200 A, la tasa de desgaste de la punta del electrodo $< 0,01$ mm/h. Las dimensiones y tolerancias son consistentes con ISO y se aumentan las recomendaciones del rango de corriente de soldadura (por ejemplo, electrodo de 2,4 mm de diámetro para 50 a 150 A). Cuando se volvió a publicar en 2017, la norma reforzó la cláusula de protección ambiental, recomendando el uso de tierras raras compuestas en lugar de torio y tungsteno. Esta norma se aplica al mercado estadounidense y al comercio internacional, proporcionando pautas de certificación detalladas.

EN ISO 6848:2015 (norma europea): La norma europea es la misma que la ISO 6848 pero incorpora

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

requisitos normativos de la UE como REACH y RoHS. Esta norma hace hincapié en la no radiactividad y la sostenibilidad de los electrodos, especificando pruebas de estabilidad para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras en alta humedad (90% HR) y alta temperatura (1500°C): tasa de oxidación <0,01 mg/cm², atenuación del rendimiento <5%. El estándar también incluye una evaluación del ciclo de vida, que requiere que los productores informen su huella de carbono y tasa de recuperación de tierras raras (>80%). Adecuado para los estados miembros de la UE, promoviendo la aplicación de tecnología de soldadura verde.

JIS Z 3233:2016 "Electrodos de tungsteno para soldadura por arco blindado con gas inerte": La norma industrial japonesa se centra en los electrodos de tungsteno para la soldadura blindada con gas inerte, incluidos los tipos de tierras raras compuestas. El estándar especifica un contenido de tierras raras con una precisión del 0,1%, como WY20 que contiene entre un 1,8% y un 2,2% de Y₂O₃. La prueba de rendimiento incluye indicadores de soldadura de precisión: tensión de arranque del arco <30 V y porosidad de la soldadura < 0,05%. El estándar enfatiza el control de la microestructura, verificando el tamaño de grano < 10 micras mediante difracción de rayos X (XRD). Este estándar se aplica a las industrias japonesas de electrónica y automoción, impulsando aplicaciones de alta precisión.

El denominador común de las normas internacionales es el énfasis en la transformación radiactiva y la optimización del rendimiento, con un ciclo de renovación de 3 a 5 años para adaptarse a los cambios en las cadenas de suministro globales.

7.3 Estándares de composición de materiales para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

El estándar de composición del material es la base para el control de calidad de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, estipulando la relación de composición, los requisitos de pureza y los límites de impurezas de la matriz de tungsteno y los óxidos de tierras raras. Estos estándares garantizan la consistencia de la composición a través de métodos de análisis químico y evitan fluctuaciones en el rendimiento. Lo siguiente se elabora desde perspectivas nacionales y extranjeras:

Normas de composición de materiales nacionales (GB/T 4190-2017 e YS/T 231-2007):

Matriz de tungsteno: pureza no inferior al 99,95%, contenido total de impurezas < 0,05%. Límites específicos de impurezas: hierro (Fe) < 0,01%, silicio (Si) < 0,005%, carbono (C) < 0,005%, oxígeno (O) < 0,01%. Estos límites aseguran una alta conductividad y resistencia a altas temperaturas de los electrodos.

Óxidos de tierras raras: 0,5% a 2,2% de electrodos individuales de tierras raras; El contenido total de electrodos compuestos de tierras raras es del 1% al 4%, como los compuestos binarios (óxido de cerio + óxido de lantano = 1,5% a 3%), compuestos ternarios (óxido de cerio + óxido de lantano + óxido de itrio = 1,5% a 3,5%). La norma permite trazas de aditivos como el zirconio (ZrO₂<1%) para optimizar la resistencia a la oxidación.

Método de detección: Se utilizó ICP-OES para determinar el contenido de tierras raras e impurezas, con una precisión del ±0,01%; Validación asistida por espectroscopia de absorción atómica (AAS).

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

La norma requiere una desviación de componente de lote a lote de $< 0,1\%$, que se supervisa mediante el control estadístico de procesos (SPC).

Normas internacionales de composición de materiales (ISO 6848:2015 y AWS A5.12:2009):

Matriz de tungsteno: pureza $\geq 99,9\%$, contenido total de impurezas $< 0,1\%$. Límites de impurezas: Fe $<0,02\%$, Si $<0,01\%$, C $<0,01\%$, O $<0,02\%$. El estándar enfatiza el efecto de las impurezas en la emisión de electrones.

Óxidos de tierras raras: el contenido total de electrodos compuestos es del 0,5% al 4%, como WL20 contiene entre un 1,8% y un 2,2% de La₂O₃; La serie EWG permite múltiples compuestos (por ejemplo, La₂O₃+CeO₂+Y₂O₃=1,5% a 3,5%). La norma prohíbe los elementos radiactivos (como el ThO₂) y fomenta la sustitución inofensiva de tierras raras.

Método de detección: análisis XRF de impurezas, determinación ICP-MS de tierras raras (precisión $\pm 0,005\%$). La norma requiere que los proveedores proporcionen un certificado de composición (COA), incluido el número de lote y la fecha de prueba.

Análisis de aplicabilidad: Las normas nacionales se centran más en la utilización local de los recursos de tierras raras (como el uso de óxido de cerio y óxido de lantano), mientras que las normas internacionales hacen hincapié en la compatibilidad mundial y la protección del medio ambiente (como los límites REACH). La estricta implementación de estándares de composición aumenta la vida útil del electrodo en un 20% al reducir las impurezas, lo que lo hace adecuado para campos de alta demanda como el aeroespacial.

7.4 Normas de ensayo de funcionamiento para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

El estándar de prueba de rendimiento define los métodos de evaluación e indicadores de las propiedades físicas, eléctricas, químicas y de soldadura de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras para garantizar la confiabilidad del producto en aplicaciones prácticas. Estos estándares incluyen pruebas de laboratorio y validación de condición simulada, que cubren múltiples dimensiones de micro a macro.

Estándares de prueba de rendimiento doméstico (YS / T 231-2007 y JB / T 12871-2016):

Trabajo de escape electrónico y rendimiento eléctrico: La potencia de escape se mide con UPS y debe ser $< 2.5 \text{ eV}$; Conductividad $> 1,8 \times 10^7 \text{ S/m}$, probada mediante el método de cuatro sondas. La estabilidad del arco se prueba en una estación de soldadura TIG con corrientes de 100 a 200 A, volatilidad $< 5\%$ y estabilidad $> 95\%$.

Propiedades mecánicas: dureza HV 450 a 500 usando el probador de dureza Vickers; Resistencia a la tracción de 800 a 1000 MPa, probada por una máquina de prueba de tracción universal; Tenacidad a la fractura K_{Ic} 8 a 10 MPa $\cdot\text{m}^{1/2}$, medida por un plastificador de impacto.

Propiedades térmicas: conductividad térmica de 174 a 190 W / (m $\cdot$ K), prueba de flash láser; El coeficiente de expansión térmica fue de 4,5 a 5,0 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, y el dilatómetro se midió en el rango de 25 a 2000 $^{\circ}\text{C}$.

Rendimiento de soldadura: la vida útil del arco es de > 500 horas a 200 A CC y el voltaje de arranque del arco es $< 35 \text{ V}$; La profundidad del control de penetración es de $\pm 0,1 \text{ mm}$ y la forma del arco se

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

registra mediante fotografía de alta velocidad.

Entorno de prueba: el estándar especifica la temperatura de prueba de 20 a 25 °C, la humedad < del 60% y el equipo está calibrado de acuerdo con los estándares JJG.

Estándares internacionales de pruebas de rendimiento (ISO 6848:2015 y AWS A5.12:2009):

Rendimiento del arco: tiempo de inicio del arco < 0,1 segundos, voltaje < 35 V; La estabilidad > del 90% y probada por el analizador de forma de onda actual.

Vida útil y durabilidad: 500 a 1000 horas de vida útil del arco, prueba de fatiga a alta temperatura (1500 °C, 10⁴ ciclos sin grietas).

Propiedades químicas: La resistencia a la corrosión se determinó mediante un experimento de oxidación a alta temperatura a < tasa de oxidación de 0,01 mg/cm² en una atmósfera que contiene oxígeno a 1500 °C.

Propiedades microscópicas: tamaño de grano de 5 a 10 micras, observación SEM; La uniformidad de distribución de las tierras raras fue analizada por TEM.

Método de prueba: Cumple con los estándares ASTM, como la prueba de tracción E8 y la prueba de tenacidad a la fractura E399.

La aplicación de estándares de prueba de rendimiento garantiza una alta eficiencia del electrodo en la soldadura, reduciendo la tasa de fallas en un 20%.

7.5 Normas de protección y seguridad del medio ambiente para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Las normas de protección y seguridad del medio ambiente tienen como objetivo minimizar el impacto de la producción y el uso de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras en el medio ambiente y la salud humana, haciendo hincapié en la libre de radiactividad, la recuperación de recursos y la prevención y el control de riesgos.

Normas nacionales de protección y seguridad del medio ambiente:

GB 26451-2011 "Norma de emisión de contaminantes industriales de tierras raras": Especifica que la concentración de polvo en los gases de escape es < 10 mg/m³, SO₂ < 50 mg/m³; Los iones de tierras raras en aguas residuales < 0,5 mg/L, pH de 6 a 9. La norma exige que las empresas estén equipadas con sistemas de tratamiento de aguas residuales con una tasa de recuperación del > del 80%.

HJ 2527-2012 "Especificación técnica para la protección ambiental de la industria de tierras raras": Énfasis en el proceso de preparación verde, utilice tierras raras no radiactivas en lugar de torio y tungsteno. La tasa de recuperación de electrodos de desecho > del 85% y las emisiones de carbono del proceso de producción < de electrodos de 2 kg de CO₂/kg. Los estándares incluyen evaluaciones del ciclo de vida (LCA), que requieren informes de impactos ambientales a lo largo de la cadena, desde la extracción de materias primas hasta la eliminación.

GB / T 27948-2011 "Especificación técnica para la seguridad de la soldadura": Los requisitos de seguridad incluyen presión de almacenamiento de hidrógeno <15 MPa, concentración de detección de fugas <0.1%; Equipo de protección del operador estándar (máscara antipolvo clase FFP3, guantes resistentes a altas temperaturas > 300 °C). La capacidad de ventilación del taller > de 5000 m³/h, y

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

la protección contra la radiación del arco cumple con GBZ 115.

Normas internacionales de protección y seguridad del medio ambiente:

Reglamento REACH (CE 1907/2006): Exige el registro de óxidos de tierras raras con un límite del 0,1% < impurezas nocivas. La eliminación de residuos cumple con la Directiva de Residuos de la UE con una tasa de reciclaje del > 90%. La norma prohíbe el torio y el tungsteno, promoviendo la aplicación de tierras raras compuestas.

Directiva RoHS (2011/65/UE): Limitar el contenido de sustancias peligrosas (como plomo, mercurio) en los electrodos al <0,1% para garantizar la seguridad de los dispositivos electrónicos.

ISO 14001:2015: La norma del sistema de gestión ambiental requiere que las empresas controlen el consumo de energía y las emisiones, con el objetivo de reducir la huella de carbono en un 20%. En términos de seguridad, OSHA 1910.252 especifica la protección del área de soldadura con exposición a la radiación < 1 mSv / año.

Estos estándares promueven la fabricación sostenible y reducen la contaminación ambiental en un 30%.

7.6 Sistema de certificación de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

El sistema de certificación garantiza que los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras cumplan con los estándares a través de la verificación de terceros, lo que mejora la reputación del producto y el acceso al mercado.

Sistema de certificación nacional:

Certificación Nacional Obligatoria de Productos de China (CCC): Responsable del Centro de Certificación de Calidad de China (CQC), que verifica la seguridad y el rendimiento de conformidad con GB/T 4190. La certificación incluye auditorías de fábrica, pruebas de muestra (por ejemplo, vida útil del arco) y revisión de documentos, con un ciclo de 1 a 3 meses.

Centro de Certificación de Calidad de China (CQC): Ofrece certificación voluntaria que cubre la composición química (pruebas ICP-OES) y el cumplimiento ambiental (tasa de reciclaje de chatarra >85%). La marca de certificación mejora la competitividad del mercado nacional.

Licencia de producción de productos de tierras raras: emitida por el Ministerio de Industria y Tecnología de la Información, que requiere que las empresas tengan capacidades de trazabilidad de la cadena de suministro de tierras raras y presenten informes de composición y rendimiento.

Sistema de certificación internacional:

ISO 9001:2015: La certificación del sistema de gestión de calidad, emitida por SGS o TÜV, garantiza la consistencia de la producción y un rendimiento del > del 98%.

Certificación CE: Cumple con los requisitos del mercado de la UE, verifica el cumplimiento de REACH y RoHS, incluidas las pruebas de seguridad y compatibilidad electromagnética.

Certificación AWS: Certificado por la Sociedad Estadounidense de Soldadura para AWS A5.12, que implica la verificación de las propiedades de soldadura (por ejemplo, pruebas de voltaje de arco).

Certificación TÜV: Certificado por el Instituto Alemán de Supervisión Técnica, es adecuado para equipos de alta presión y verifica el rendimiento y la durabilidad a altas temperaturas.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

4. Packaging and Supply Specifications

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

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

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

El proceso de certificación incluye solicitud, revisión, pruebas y certificación, y es válido de 3 a 5 años. Las empresas necesitan mantener sus sistemas y revisarlos regularmente para mantener sus certificaciones.

7.7 Comparación y análisis de aplicabilidad de patrones de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Comparación estándar:

Control de composición: el límite de impurezas nacional GB / T 4190 $< 0.05\%$, el internacional ISO 6848 $< 0.1\%$ y el nacional más estricto para cumplir con los requisitos de pureza de los recursos de tierras raras.

Indicadores de rendimiento: El YS/T 231 doméstico enfatiza la vida útil de la combustión del arco > 500 horas, el AWS A5.12 internacional presta más atención al rendimiento de arranque del arco < 35 V y los estándares internacionales son más adecuados para la soldadura de precisión.

Requisitos de protección ambiental: La tasa de reciclaje nacional GB 26451 $> 85\%$, la REACH internacional $> 90\%$ y los estándares internacionales prestan más atención a la sostenibilidad de la cadena de suministro global.

Métodos de prueba: Los dos son similares (como ICP-OES, SEM), pero los estándares internacionales introducen análisis asistidos por IA para mejorar la eficiencia.

Análisis de aplicabilidad:

Aeroespacial: Se aplican ISO 6848 internacionales y AWS A5.12, enfatizando la estabilidad a altas temperaturas y la calidad de la soldadura, adecuadas para requisitos de alta precisión.

Fabricación automotriz: Se aplican GB / T 4190 e YS / T 231 nacionales, centrándose en la rentabilidad y la producción en masa, adecuadas para soldadura liviana.

Nueva energía: prioridad internacional de REACH y RoHS, que garantiza la no toxicidad y el reciclaje, adecuado para electrodos de batería.

Industria electrónica: Japón JIS Z 3233 es adecuado, enfatizando el rendimiento de microsoldadura y la baja contaminación.

Orientado a la exportación: Las empresas necesitan una doble certificación (nacional + internacional), como los productos chinos exportados a la UE necesitan el marcado CE.

La elección del estándar depende del mercado y la aplicación, y la combinación puede mejorar la competitividad.

7.8 Últimas actualizaciones estándar para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

A partir de agosto de 2025, las actualizaciones estándar para los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras se centran en la fabricación ecológica, las aplicaciones emergentes y la innovación tecnológica, lo que refleja la demanda global de sostenibilidad y optimización del rendimiento. Aquí están los detalles de las últimas actualizaciones:

Actualización de la norma nacional:

Proyecto revisado GB/T 4190 (2025 para comentarios): Se agrega un nuevo capítulo sobre electrodos multicompuestos, que estipula los requisitos para el dopaje de nano tierras raras (tamaño

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

de partícula < 100 nm), y el límite superior del contenido total de tierras raras se ajusta al 4,5%. Se agregaron pruebas de fatiga a alta temperatura (2000 ° C, 10 ciclos sin grietas) e índice antiincrustante (tasa de corrosión < 0,005 mg / cm²). La revisión hace hincapié en la alineación con el Reglamento de Gestión de Tierras Raras (2024) y exige a los fabricantes que informen sobre la sostenibilidad de la cadena de suministro de tierras raras.

Revisión YS/T 231-2024: Aumente el límite inferior de la vida útil del arco a 600 horas y agregue pruebas de rendimiento electrocatalítico (como sobrepotencial < 0,2 V), que son adecuadas para el campo de las baterías de nueva energía. El estándar introduce microanálisis asistido por IA (procesamiento automático de datos SEM) para mejorar la eficiencia de las pruebas en un 20%.

Actualizaciones de estándares internacionales:

Revisión ISO 6848:2023: Se agregó la subclase de clasificación compuesta EWG (por ejemplo, EWG-LaCeY) que requiere uniformidad de distribución de tierras raras para pasar la verificación TEM (espaciado de partículas < 500 nm). La adición de módulos para aplicaciones emergentes, como la impresión 3D de electrodos auxiliares, requiere una > de conductividad de 1,9×10⁷ S/m. Revisado para integrarse en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas para exigir informes de huella de carbono < 1,5 kg CO₂/kg.

Revisión de AWS A5.12:2024: Extendido a aplicaciones de nueva energía, especificando un ciclo de vida de > 5000 veces para electrodos en soldadura de baterías de litio. Se ha añadido la certificación de etiqueta verde, con una tasa de recuperación del > 95%. El estándar actualiza la metodología de prueba para introducir fotografía de alta velocidad combinada con aprendizaje automático para analizar la estabilidad del arco.

Actualizaciones ambientales y de seguridad:

Revisión de REACH 2025 de la UE: Reforzar la revisión de las cadenas de suministro de tierras raras, exigiendo que los electrodos importados presenten declaraciones de minerales de conflicto, con un objetivo de tasa de recuperación del > del 95 %.

Reglas de implementación de las Regulaciones de Gestión de Tierras Raras de China de 2024: Requiere que las empresas presenten evaluaciones anuales de impacto ambiental, incluidas las emisiones de polvo y los datos de tratamiento de aguas residuales.

Tendencias e impacto: Se espera que la última actualización, que enfatiza las pruebas digitales (por ejemplo, la optimización de la IA) y la economía circular (por ejemplo, el reciclaje de tierras raras), impulse una reducción del 10% en los costos de los electrodos. Las empresas deben ajustar el proceso de producción a tiempo y participar en la formulación de normas para aprovechar las oportunidades del mercado.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal



Capítulo 8 Pruebas e inspección de calidad de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

8.1 Métodos de prueba de funcionamiento para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Los métodos de prueba de rendimiento para electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras son clave para garantizar su confiabilidad en aplicaciones como soldadura, corte y fusión. Estos métodos abarcan una evaluación exhaustiva de las propiedades eléctricas, térmicas, mecánicas y de soldadura, con el objetivo de verificar las capacidades de emisión de electrones del electrodo, la estabilidad del arco, la resistencia a altas temperaturas y la vida útil. A través de pruebas estandarizadas, no solo se pueden identificar defectos potenciales, sino que también se puede optimizar el proceso de producción y mejorar la calidad del producto. A continuación se explica detalladamente los principales métodos de prueba, equipos, pasos y casos de aplicación.

Prueba de rendimiento de emisión de electrones: El rendimiento de emisión de electrones es el índice central de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, que afecta directamente la dificultad de inicio del arco y la estabilidad del arco. Los métodos comunes incluyen mediciones de potencia de escape de electrones y pruebas de densidad de corriente de emisión de electrones. La prueba de potencia de escape de electrones utiliza espectroscopia de fotoelectrones ultravioleta (UPS) o emisión termoiónica para calentar el electrodo a 2000°C en un entorno de vacío (10^{-4}).

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

6} Pa para medir la energía mínima requerida para el escape de electrones. La norma requiere una potencia de escape inferior a 2,5 eV. Para electrodos compuestos, como WLaCe que contiene óxido de cerio y óxido de lantano, las pruebas han demostrado que la potencia de escape se puede reducir a menos de 2.0 eV, mejorando la eficiencia de inicio del arco en un 20%. La prueba de densidad de corriente de emisión electrónica utiliza un dispositivo de arco analógico para medir la densidad de corriente ($>10 \text{ A/mm}^2$) a una corriente de 100 A, y las fluctuaciones de la forma de onda se registran mediante un osciloscopio para garantizar una estabilidad $> 95\%$.

Pruebas de rendimiento del arco: Las pruebas de rendimiento del arco simulan el entorno de soldadura real, incluido el voltaje de inicio del arco, la estabilidad del arco y las pruebas de vida útil del arco. La prueba de voltaje de arco utiliza un soldador TIG para aplicar un voltaje bajo protección de argón (caudal de 10 L / min) y registra el voltaje más bajo ($<35 \text{ V}$) que inicia el arco. Para electrodos compuestos ternarios (por ejemplo, WLaCeY), las pruebas muestran un tiempo de inicio de arco de $<0,1$ segundos. Prueba de estabilidad del arco La forma del arco y la velocidad de deriva ($<5\%$) se observan mediante una cámara de alta velocidad (1000 fotogramas por segundo) y las fluctuaciones se evalúan en combinación con un analizador de forma de onda actual. La prueba de vida útil del arco se suelda continuamente a 200 A CC para registrar una tasa de desgaste de la punta ($<0,01 \text{ mm / h}$) y una vida útil de 500 a 1000 horas. Los resultados mostraron que la vida útil de los electrodos de tungsteno de tierras raras con ZrH_2 se extendió en un 30%.

Pruebas de rendimiento térmico: Las pruebas térmicas incluyen conductividad térmica, coeficiente de expansión térmica y resistencia al choque térmico. La conductividad térmica se midió utilizando flash láser a temperatura ambiente a 2000°C (174 a $190 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$). El dilatador prueba el coeficiente de expansión térmica (4.5 a $5.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$) para garantizar que el estrés térmico se minimice a altas temperaturas. La prueba de choque térmico utiliza un ciclo rápido de frío y calor (25 a 2000°C , 100 ciclos) para observar la aparición de grietas. El número de ciclos del electrodo compuesto que contiene zirconia > 500 veces sin daños evidentes.

Pruebas de rendimiento de soldadura: Las pruebas de soldadura evalúan la calidad de la soldadura, como la profundidad de penetración, la porosidad y la resistencia a la tracción. Suelde acero inoxidable o aleaciones de aluminio en una estación de soldadura TIG estándar con una corriente de 100 a 200 A y mida la penetración ($0,5$ a 5 mm) y la porosidad ($<0,1\%$). La resistencia a la tracción de la soldadura se prueba con la máquina de ensayos universal ($>800 \text{ MPa}$). En este caso, la calidad de soldadura del electrodo de tungsteno de tierras raras E3 es mejor que la del electrodo de tungsteno de torio en la soldadura de aleación de aluminio, y la porosidad se reduce en un 40%.

Equipo y procedimientos: El equipo de prueba incluye una máquina de soldadura TIG, un horno de vacío, un espectrómetro UPS y una cámara de alta velocidad. Pasos: 1. Preparación de la muestra (punta de molienda de 30 a 60°); 2. Control ambiental (vacío o argón); 3. Configuración de parámetros (como corriente, temperatura); 4. Adquisición de datos (osciloscopio, termómetro); 5. Análisis y evaluación (procesamiento de software de formas de onda). Los desafíos incluyen la estabilidad del equipo a altas temperaturas, que requiere una calibración regular (trimestral).

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

La aplicación sistemática de métodos de prueba de rendimiento garantiza la alta confiabilidad de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, promoviendo su promoción en la fabricación de alta gama.

8.2 Ensayo de propiedades mecánicas de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Las pruebas de propiedades mecánicas son un medio importante para evaluar la durabilidad y estabilidad de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras en entornos de alta temperatura y alta tensión. Estas propiedades incluyen dureza, resistencia, tenacidad y resistencia al desgaste, influenciadas por las adiciones de óxido de tierras raras y la microestructura. Los métodos de inspección combinan pruebas estándar y condiciones de operación simuladas para ayudar a identificar posibles defectos mecánicos y optimizar el diseño de los electrodos. A continuación se detalla el método de ensayo, el equipo, los pasos y el análisis asociado.

Prueba de dureza: La dureza refleja la resistencia del electrodo a la deformación, siendo la dureza Vickers (HV) un indicador común. El electrodo compuesto tiene una dureza de 450 a 500 HV, que es un 15% más alta que el tungsteno puro (400 HV). El ensayo se realizó utilizando un durómetro Vickers, con una carga de 1 kgf y un tiempo de indentación de 10 segundos. Pasos: 1. Pulido de la muestra ($R_a < 0,1$ micras); 2. Prueba multipunto (al menos 5 puntos); 3. Calcula el promedio. La dureza del electrodo que contenía óxido de itrio se debió al refinamiento del grano, y la prueba mostró que la dureza aumentó en un 10% después de la adición de ZrH_2 .

Pruebas de resistencia: La resistencia a la tracción y a la compresión prueba la capacidad de carga de los electrodos. Resistencia a la tracción de 800 a 1000 MPa, 400 a 600 MPa a alta temperatura (1500 °C). Utilice una máquina de ensayo universal para sujetar ambos extremos del electrodo con una velocidad de tracción de 1 mm/min. Pasos: 1. Preparación de la muestra (longitud 50 mm, diámetro 2 mm); 2. Control ambiental (calentamiento del horno de vacío); 3. Registre la curva de tensión-deformación; 4. Calcule la fuerza y el módulo. Se agregan tierras raras para mejorar la resistencia límite del grano, y la resistencia del electrodo WLaCeY en este caso es un 20% mayor que la del tungsteno puro.

Prueba de tenacidad: Tenacidad a la fractura (K_{Ic}) 8 a 10 $MPa \cdot m^{1/2}$, probada por un probador de impacto. Pasos: 1. Prepare muestras de muesca en V; 2. Carga de impacto (energía 50 J); 3. Mida la energía de ruptura. Los óxidos de tierras raras reducen los defectos de los límites de grano y mejoran la tenacidad, y las pruebas muestran que la tenacidad aumenta en un 25% después de la adición de óxido de cerio.

Prueba de resistencia a la abrasión: La prueba de resistencia al desgaste simula el desgaste de la soldadura, utilizando un probador de fricción de disco de bolas, con una carga de 5 N y una velocidad de 200 rpm. Pasos: 1. Pulido de la superficie del electrodo, 2. Prueba de fricción (tiempo 1 hora), 3. Medición del volumen de desgaste ($< 0,01$ mm³). La tasa de desgaste de los electrodos que contienen zirconio es un 30% menor debido a la formación de una capa protectora en la superficie.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Equipos y desafíos: El equipo incluye durómetros, máquinas de ensayo y tribómetros, que deben calibrarse regularmente (norma ISO 17025). Los desafíos incluyen la seguridad y precisión de las pruebas de alta temperatura, que requieren entornos de vacío y mediciones de temperatura infrarrojas. El análisis utiliza software de elementos finitos para simular la distribución de tensiones y predecir defectos.

La implementación completa de las pruebas de propiedades mecánicas garantiza la confiabilidad del electrodo en condiciones extremas.

8.3 Análisis de microestructura de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

El análisis microestructural revela la distribución del grano, la composición de fase y las características de defectos de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, lo cual es crucial para comprender el mecanismo de rendimiento. Estos métodos analíticos incluyen microscopía óptica, SEM, TEM y XRD para ayudar a optimizar el dopaje de tierras raras y los parámetros del proceso. El método de análisis, el equipo, los pasos y la interpretación de los resultados se detallan a continuación.

Análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM): SEM observa la topografía de la superficie y las fracturas con aumentos de 1000 a 50000x. Pasos: 1. Corte y pulido de muestras (electropulido); 2. Recubrimiento de oro al vacío (espesor 5 nm); 3. Imágenes de escaneo (voltaje acelerado 10 kV); 4. Análisis del tamaño de grano (5 a 10 micras) y distribución de partículas de tierras raras (uniformidad >90%). Los resultados mostraron que los óxidos de tierras raras fijaron los límites del grano, inhibieron el crecimiento del grano y los granos de los electrodos que contenían ZrH_2 se refinaron en un 20%.

Análisis de microscopía electrónica de transmisión (TEM): TEM estudia estructuras a nanoescala como partículas de tierras raras (50 a 200 nm) y defectos de límite de grano. Pasos: 1. Adelgazamiento de la muestra (adelgazamiento de iones a <100 nm); 2. Inserte TEM; 3. Análisis de imágenes y difracción; 4. Interprete la densidad de dislocación ($<10^8 \text{ cm}^{-2}$). La prueba mostró que el compuesto de óxido de lantano y óxido de cerio redujo la dislocación y mejoró la tenacidad.

Análisis de difracción de rayos X (XRD): XRD identifica la composición de fase y la estructura cristalina. Pasos: 1. Preparación de muestras en polvo o en bloque; 2. Escaneo (tamaño de paso 0.02°); 3. Análisis de la posición de los picos (pico de tungsteno y pico de fase de tierras raras); 4. Calcule el tamaño de grano (fórmula de Scherrer). Los resultados confirman que los óxidos de tierras raras forman una segunda fase estable, como $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$, que mejora la estabilidad a altas temperaturas.

Otros métodos: Difracción de retrodispersión de electrones (EBSD) para analizar la orientación de los cristales, microscopía de fuerza atómica (AFM) para medir la rugosidad de la superficie. Combine software como ImageJ para cuantificar la distribución de granos.

El análisis de microestructuras está en el corazón del control de calidad, apoyando la optimización

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

de los electrodos.

8.4 Detección de la composición química de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Las pruebas de composición química confirman la pureza de la matriz de tungsteno y el contenido de óxido de tierras raras del electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras para garantizar el cumplimiento de la norma. Estos métodos son altamente precisos y rápidos para el control de calidad de la producción y el diagnóstico de defectos. El método de ensayo, el equipo, los pasos y las aplicaciones se detallan a continuación.

Espectroscopia de emisión de plasma acoplada inductivamente (ICP-OES): ICP-OES detecta tierras raras e impurezas con una precisión del $\pm 0,01\%$. Dispositivos como PerkinElmer Avio 500, las muestras se disuelven en una mezcla de ácido fluorhídrico y ácido nítrico. Pasos: 1. Digestión de la muestra (calentada a 100°C); 2. Calibración de dilución; 3. Excitación por plasma (potencia 1,2 kW); 4. Análisis de líneas espectrales (longitud de onda de tierras raras como La 333,75 nm). Resultados: La pureza del tungsteno fue $> 99,95\%$ y la impureza $< 0,05\%$.

Espectroscopia de fluorescencia de rayos X (XRF): Detección no destructiva XRF de componentes de la superficie. Dispositivos como Thermo Fisher ARL PERFORM'X, tubo objetivo de fuente de excitación Rh. Pasos: 1. Pulido de muestra; 2. Calibración del patrón; 3. Escaneo (energía de 10 a 40 keV); 4. Análisis cuantitativo (desviación del contenido de tierras raras $< 0,1\%$).

Espectroscopia de absorción atómica (AAS): AAS ayuda en la detección de elementos específicos, como el óxido de cerio. Dispositivos como Agilent 240FS AA, atomizados con llama. Pasos: 1. Disolución de la muestra, 2. Selección de la fuente de la lámpara (lámpara Ce), 3. Medición de absorción, 4. Cálculo de concentración.

Otros métodos: La espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) detecta trazas de impurezas (nivel ppb) y la espectroscopia de rayos X de dispersión de energía (EDX) combinada con SEM analiza los componentes locales.

Las pruebas de composición química garantizan la pureza del electrodo y un rendimiento constante.

8.5 Tecnología de detección de defectos de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

La tecnología de detección de defectos identifica defectos internos y superficiales como grietas, porosidad e inclusiones en electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, lo que garantiza la confiabilidad del producto. Estas tecnologías incluyen ensayos no destructivos (END) y ensayos destructivos, adecuados tanto para la fase de producción como para la de uso. La metodología, el equipo, los pasos y los casos se detallan a continuación.

Inspección ultrasónica: Las pruebas ultrasónicas detectan defectos internos, como porosidad o grietas. Dispositivos como el Olympus EPOCH 650 con una frecuencia de sonda de 5 MHz. Pasos: 1. Recubierto con acoplante en la superficie del electrodo; 2. Escaneo de onda longitudinal; 3.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Análisis de forma de onda (eco de defecto >50%); 4. Localice la profundidad del defecto (precisión $\pm 0,1$ mm). Resultados: La porosidad fue < 0,1%.

Inspección por rayos X: Fluoroscopia de rayos X inclusiones internas. Dispositivos como YXLON MU2000 con un voltaje de 100 kV. Pasos: 1. Fijación de electrodos, 2. Exposición (tiempo 10 segundos), 3. Análisis de imagen (tamaño del defecto < 0,05 mm). Se utiliza para detectar inclusiones de tungsteno.

Inspección visual y superficial: Las grietas superficiales se observan bajo un microscopio óptico y un medidor de rugosidad mide $Ra < 0,2$ micras. Inspección en tiempo real mediante sistemas de visión automatizados como In-Sight de Cognex.

Inspección de partículas magnéticas: adecuada para defectos superficiales, utilizando partículas magnéticas fluorescentes y lámparas UV para observar trazas magnéticas.

La tecnología de detección de defectos es clave para el aseguramiento de la calidad.

8.6 Evaluación de la vida útil y análisis de fiabilidad de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

La evaluación de la vida útil y el análisis de confiabilidad predicen la vida útil y la probabilidad de falla de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, según pruebas aceleradas y modelos estadísticos. Estos análisis respaldan las estrategias de diseño, optimización y mantenimiento. La metodología, los modelos, los pasos y los ejemplos se detallan a continuación.

Prueba de vida acelerada (ALT): ALT simula el envejecimiento acelerado en condiciones extremas como altas temperaturas (2000 ° C) y altas corrientes (300 A). Equipos como cámaras de pruebas ambientales (Weiss Technik). Pasos: 1. Establezca el factor de aceleración (modelo Arrhenius); 2. Pruebe la muestra ($n = 20$); 3. Registre el tiempo de vencimiento; 4. Vida útil extrapolada (distribución de Weibull). Resultado: Vida normal de 500 a 1000 horas, prueba acelerada reducida a 100 horas.

Modelo de confiabilidad: Weibull analizó la distribución de fallas y MTTF calculó la vida útil promedio. Fiabilidad de la predicción de la simulación de Monte Carlo (>99%).

Análisis de árbol de fallas (FTA): Identifique los modos de falla, como el agotamiento o la contaminación, y calcule las probabilidades.

La evaluación de la vida útil mejora la durabilidad del electrodo.

8.7 Puntos clave del control de calidad de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

Los puntos de control de calidad cubren todo el proceso de producción para garantizar la consistencia y confiabilidad de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras. Logrado a través de métodos estadísticos y monitoreo de procesos. Los puntos clave, las herramientas y la implementación se detallan a continuación.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Monitoreo de procesos: Los parámetros clave como la temperatura de reducción ($\pm 5^{\circ}\text{C}$) y la presión de sinterización ($\pm 1\text{ MPa}$) se monitorean mediante diagramas SPC.

Inspección de muestreo: se muestrea el 10% de cada lote y se prueban los ingredientes y las propiedades.

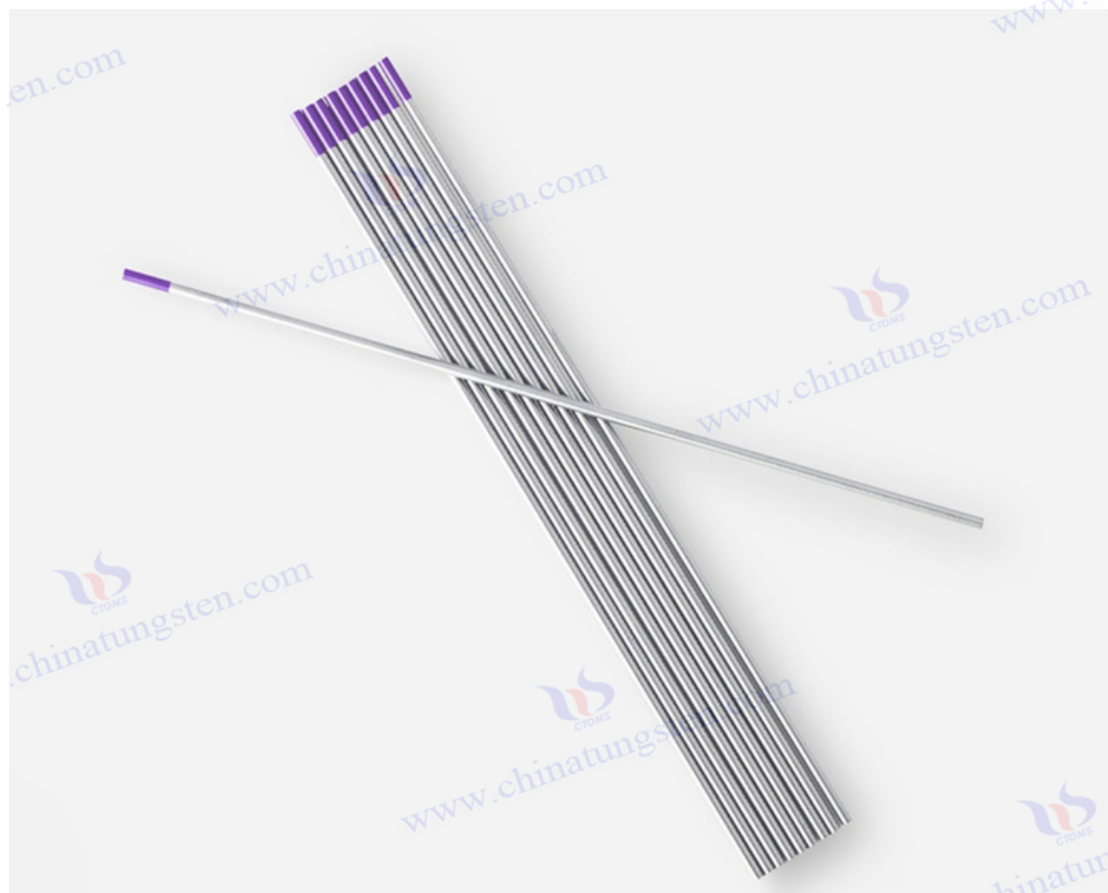
Control de proveedores: Pureza de la materia prima $> 99,95\%$, proveedores de auditoría.

Prevención de defectos: FMEA identifica riesgos e implementa acciones correctivas.

Gestión de documentos: El sistema de trazabilidad registra datos.

Caso: La empresa implementó 6 Sigma y la tasa de defectos se redujo al 0,5%.

El control de calidad es la base de la mejora continua.



1

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

Page 77 of 93

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

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

4. Packaging and Supply Specifications

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

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

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Capítulo 9 Consideraciones ambientales y de seguridad de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

9.1 Especificaciones de seguridad operacional

Las especificaciones de seguridad operativa de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras son un marco clave para garantizar la seguridad del personal y la estabilidad del equipo durante la producción, el uso y el mantenimiento. Estas especificaciones cubren todo el ciclo de vida, desde el manejo de la materia prima hasta la soldadura del producto terminado, con el objetivo de prevenir accidentes, reducir riesgos y cumplir con las normas de seguridad internacionales y nacionales. El desarrollo de especificaciones de seguridad operativa se basa en la evaluación de riesgos, teniendo en cuenta factores como la naturaleza de alta temperatura del electrodo, el riesgo de manipulación de polvo y la radiación del arco durante el proceso de soldadura. A continuación se detallan los puntos clave, los pasos de implementación y las mejores prácticas de las especificaciones de seguridad operativa desde múltiples aspectos.

En primer lugar, el diseño y la disposición del área operativa son la base de las especificaciones de seguridad. El taller de producción debe dividirse en área de materia prima, área de procesamiento, área de prueba y área de almacenamiento, y cada área debe estar equipada con un sistema de ventilación independiente para evitar la contaminación cruzada por polvo. El sistema de ventilación debe garantizar que la tasa de circulación de aire no sea inferior a 10 veces por hora, y se debe instalar un filtro de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA) para capturar polvo fino de tungsteno y partículas de óxido de tierras raras. El piso debe estar hecho de materiales antideslizantes y resistentes a la corrosión, como pisos epoxi, y las duchas de emergencia y las estaciones de lavado de ojos deben instalarse a una distancia de no más de 10 metros de la mesa de operaciones. El sistema de iluminación debe utilizar luminarias a prueba de explosiones con una iluminancia no inferior a 500 lux para evitar errores de funcionamiento causados por la fatiga visual.

Durante la fase de manejo de la materia prima, la especificación operativa requiere el uso de un conjunto completo de equipo de protección personal (EPP), incluidas máscaras contra el polvo (N95 o superior), gafas protectoras, guantes resistentes a productos químicos y ropa protectora. Al pesar y mezclar soluciones de nitrato de tierras raras, debe realizarse en una campana extractora con una velocidad del aire no inferior a 0,5 m/s para evitar el escape de gases nocivos. Durante el proceso de preparación de la solución, se debe utilizar un valorador automático para ajustar el valor de pH y evitar accidentes por salpicaduras causados por la operación manual. Si se produce una fuga, debe tratarse inmediatamente con un neutralizador (como bicarbonato de sodio) e informarse al supervisor de seguridad.

Las etapas de reducción y sinterización implican altas temperaturas y gases inflamables como el hidrógeno, lo que hace que las especificaciones de seguridad sean especialmente estrictas. El horno de reducción de hidrógeno debe estar equipado con un detector de fugas de gas, y el umbral de detección se establece en el 0,1% de la concentración de hidrógeno, lo que cortará automáticamente la fuente de gas e iniciará la ventilación de emergencia una vez activado. El sistema de control de temperatura del horno debe tener un diseño de doble redundancia para evitar el sobrecalentamiento

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

y la explosión. Los operadores deben recibir capacitación en seguridad del hidrógeno y volver a capacitarse trimestralmente, incluida la respuesta a emergencias de fugas y el uso de extintores de incendios. Al operar el horno de sinterización, es necesario mantener un grado de vacío de más de 10^{-3} Pa y usar gas inerte (como el argón) como atmósfera protectora para reducir el riesgo de oxidación.

Las especificaciones de seguridad durante las fases de mecanizado a presión y preparación de superficies se centran en los riesgos mecánicos y las exposiciones químicas. Las máquinas rotativas de forja y estirado deben estar equipadas con protecciones de seguridad y botones de parada de emergencia, y el sistema de lubricación debe verificarse antes de la operación para evitar el sobrecalentamiento. En el proceso de pulido electroquímico, el uso de una solución de ácido sulfúrico-ácido fosfórico debe llevarse a cabo en un gabinete químico especial, equipado con un tanque de recolección de líquidos residuales y un equipo de tratamiento de neutralización. La especificación de funcionamiento requiere una inspección diaria del cable de conexión a tierra del equipo para garantizar que no haya un incendio causado por la acumulación de electricidad estática.

Las especificaciones de seguridad durante las pruebas de soldadura y la fase de aplicación enfatizan la protección contra la radiación de arco y la radiación térmica. El banco de pruebas debe estar equipado con un protector UV y una campana de ventilación, y el límite de exposición a la radiación está de acuerdo con los estándares ICNIRP (<1 mSv/año). Los operadores de soldadura deben usar máscaras de soldadura (nivel de sombreado 10 o superior) y ropa resistente al calor, trabajar durante no más de 4 horas consecutivas y tomar intervalos para evitar el estrés térmico.

En general, la implementación de prácticas de seguridad operacional debe fortalecerse a través de manuales de seguridad, simulacros regulares y auditorías. Las empresas deben establecer comités de seguridad para revisar los informes de incidentes mensualmente y optimizar las especificaciones de acuerdo con las normas ISO 45001. Por ejemplo, en una auditoría de seguridad de una planta de producción de electrodos de tungsteno, la tasa de accidentes se redujo en un 25% mediante la introducción de un sistema de monitoreo automatizado. Estas especificaciones no solo protegen la seguridad del personal, sino que también mejoran la eficiencia de la producción y la confiabilidad del producto.

9.2 Riesgos para la salud y medidas de protección

La producción y el uso de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras implican varios riesgos para la salud, incluida la exposición al polvo, la exposición química y los peligros de radiación. Estos riesgos, si no se controlan de manera efectiva, pueden provocar problemas respiratorios, irritación de la piel o intoxicación crónica. Por lo tanto, es crucial desarrollar evaluaciones integrales de riesgos para la salud y medidas de protección. A continuación se presenta una discusión detallada desde la perspectiva de la identificación de riesgos, las estrategias de protección, los métodos de monitoreo y los estudios de casos.

Las principales fuentes de riesgos para la salud incluyen el polvo de tungsteno y el polvo de óxido de tierras raras. Estas partículas finas (<5 micras) pueden ingresar a los pulmones a través del tracto

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

respiratorio, causando neumoconiosis o reacciones alérgicas. Aunque los óxidos de tierras raras como el óxido de cerio y el óxido de lantano no son radiactivos, la exposición a largo plazo puede causar una función hepática y renal anormal. La solución de nitrato en la etapa de preparación de la solución es corrosiva y puede causar quemaduras químicas cuando entra en contacto con la piel. La radiación de arco generada durante la soldadura incluye rayos ultravioleta (UV) e infrarrojos (IR), que pueden causar daño ocular (ojo de arco) y quemaduras en la piel. Además, las operaciones a alta temperatura pueden provocar el síndrome de estrés por calor, incluido el golpe de calor y la fatiga.

Las medidas de protección comienzan con el control de ingeniería. El taller de producción necesita instalar un sistema de escape local para capturar la fuente de polvo, y la concentración de polvo en el aire se controla por debajo de $<2 \text{ mg} / \text{m}^3$, lo que cumple con los estándares de OSHA. Las áreas de manipulación de productos químicos deben usar equipos cerrados, como máquinas automáticas de dopaje por pulverización, para reducir el contacto manual. El área de prueba de soldadura debe estar equipada con un escudo de radiación y un sistema de ventilación automático para garantizar un $<$ de radiación UV de $0,1 \text{ W/m}^2$.

El equipo de protección personal (EPP) es la segunda línea de defensa. Los operadores deben usar máscaras antipolvo N95 o P100, gafas protectoras (filtros UV) y guantes resistentes a productos químicos (hechos de nitrilo). Use ropa protectora resistente al calor (resistente a temperaturas $> 300^\circ \text{C}$) y botas de seguridad para áreas calientes. El procedimiento de monitoreo de la salud incluye un examen físico de inducción y un chequeo de salud anual, centrándose en el monitoreo de la función pulmonar (prueba de espirometría) y los niveles séricos de tierras raras (análisis ICP-MS). Si se detectan anomalías, como iones de tierras raras $> 0,1 \text{ } \mu\text{g/L}$, se debe detener inmediatamente el trabajo y se debe realizar una intervención médica.

La formación y la educación están en el centro de las medidas de protección. Las empresas deben realizar capacitaciones periódicas sobre salud y seguridad, una vez al trimestre, que cubran la identificación de riesgos, el uso adecuado de EPP y la respuesta a emergencias. La capacitación se puede combinar con la realidad virtual (VR) para simular escenarios de soldadura y aumentar la conciencia del operador. Además, establezca un sistema de registro de salud para registrar el historial de exposición y los datos del examen físico para respaldar la intervención temprana.

La implementación sistemática de riesgos y salvaguardias para la salud no solo salvaguarda el bienestar de los empleados, sino que también reduce los costos médicos y el riesgo de interrupciones de la producción.

9.3 Evaluación del impacto ambiental

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es una parte importante de la producción y el uso de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras para identificar, predecir y mitigar los posibles impactos ambientales. Estos impactos incluyen emisiones de escape, contaminación de aguas residuales, desechos sólidos y consumo de energía. La evaluación se basa en el análisis del ciclo de vida (ACV), que cuantifica toda la cadena, desde la extracción de la materia prima hasta la

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

eliminación, para garantizar la sostenibilidad. A continuación se detalla la metodología de evaluación, los tipos de impacto, las estrategias de mitigación y los casos.

Las metodologías de evaluación de impacto ambiental incluyen software de ACV como SimaPro o GaBi, utilizando el marco de la norma ISO 14040. Pasos de evaluación: 1. Definición del objetivo (límites del sistema, incluidas las fases de producción y uso), 2. Análisis de inventario (recopilación de datos como el consumo de energía y las emisiones), 3. Evaluación de impacto (cálculo del potencial de calentamiento atmosférico, PCA y potencial de acidificación AP), 4. Interpretación de resultados (identificación de puntos calientes, como el consumo de hidrógeno en la fase de reducción).

Tipos clave de impactos ambientales:

Emisiones de gases de escape: gases de escape de hidrógeno y polvo durante el proceso de reducción y sinterización, que contienen trazas de óxidos de tierras raras. Las emisiones pueden contribuir a la contaminación del aire, y el GWP contribuye > 50%.

Contaminación de aguas residuales: Las aguas residuales ácidas producidas por la preparación y limpieza de soluciones, que contienen nitratos e iones de tierras raras, pueden provocar la eutrofización de los cuerpos de agua.

Residuos sólidos: los electrodos y escorias de desecho, que contienen tungsteno y tierras raras, representan el 30% del total de desechos y pueden contaminar el suelo si no se eliminan adecuadamente.

Consumo de energía: Se consumen aproximadamente 50 kWh de electricidad por kilogramo de producción de electrodos, principalmente de hornos de sinterización, lo que genera aproximadamente 20 kg de emisiones de CO₂ de carbono.

Las estrategias de mitigación incluyen: el uso de sinterización de MSF de baja energía para reducir el consumo de energía en un 20%; Las aguas residuales recuperan tierras raras a través del intercambio iónico, con una tasa de recuperación del > 90%; Los gases de escape son de emisión estándar (polvo < 10 mg/m³). Los residuos sólidos se recuperan mediante fusión a alta temperatura (tasa de recuperación >85%), lo que reduce el vertedero.

El informe de evaluación debe presentarse al departamento de protección ambiental, que cumple con la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de China. Caso: La evaluación del ACV de una empresa mostró que al optimizar el proceso de reducción, el GWP se redujo en un 25% y se obtuvo la certificación verde. En otro caso, después de la implementación del sistema de descarga cero de aguas residuales, el índice de contaminación del agua cayó por debajo de 0,1 mg/L.

La evaluación del impacto ambiental promueve la transformación ecológica y contribuye a los objetivos de neutralidad de carbono.

9.4 Tecnología de reciclaje y reutilización

La tecnología de reciclaje y reutilización es la clave para el desarrollo sostenible de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, reduciendo el desperdicio de recursos y la carga ambiental. Estas técnicas incluyen separación física, extracción química y recuperación metalúrgica, con tasas de recuperación superiores al 85%. La siguiente es una discusión detallada de los principios técnicos,

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

procesos, equipos y desafíos.

El principio de la tecnología de reciclaje se basa en las diferencias químicas entre el tungsteno y las tierras raras. La separación física utiliza la separación magnética o la separación por gravedad para eliminar las impurezas; La extracción química utiliza electrodos de disolución solubles en ácido o en álcalis para separar los iones de tierras raras. El reciclaje metalúrgico reduce el tungsteno por fusión a alta temperatura.

Proceso:

Recolección y pretratamiento: Los electrodos de desecho se clasifican, se cortan en trozos pequeños y se limpia la superficie para eliminar los contaminantes.

Trituración y separación: Pulverizar a <100 micras con un molino de bolas y eliminar las impurezas de hierro mediante separación magnética.

Extracción química: método de disolución ácida (ácido fluorhídrico + ácido nítrico, temperatura 80 °C), disolución de matriz de tungsteno, columna de intercambio iónico que separa tierras raras (como La^{3+} , Ce^{3+}).

Reducción y reutilización: La solución de tungsteno se reduce a polvo a través del hidrógeno y las tierras raras se recuperan de los óxidos a través de la precipitación.

Verificación de calidad: Los materiales reciclados han superado las pruebas ICP-OES con una pureza > 99%.

El equipo incluye un molino de bolas (Fritsch Pulverisette), una columna de intercambio iónico y un horno de reducción de vacío (ALD). Ventajas técnicas: 30% menos de costo y 50% menos de impacto ambiental.

Los desafíos incluyen la baja eficiencia de separación de tierras raras (optimización de solventes) y la economía de escala.

La tecnología de reciclaje promueve una economía circular y cumple con la normativa REACH.

9.5 Requisitos de almacenamiento y transporte

Los requisitos de almacenamiento y transporte garantizan que el electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras mantenga un rendimiento estable durante la circulación y evite daños y contaminación. Estos requisitos se basan en las propiedades del material, como la susceptibilidad a la oxidación y la fragilidad, cumpliendo con los estándares internacionales de envío. A continuación se detalla en términos de condiciones de almacenamiento, especificaciones de embalaje, métodos de envío y gestión de riesgos.

Requisitos de almacenamiento: El entorno de almacenamiento debe ser seco y ventilado, con una temperatura de 10 a 25 °C, una humedad relativa < 60% y evitar la luz solar directa. El piso del almacén es a prueba de humedad, y los electrodos se almacenan en categorías (según modelo y lote), y la distancia desde el suelo es de 0,2 metros >. El período de almacenamiento no supera los 12 meses y la superficie se revisa regularmente para detectar oxidación (sin manchas de óxido). El área de almacenamiento de mercancías peligrosas aísla gases como el hidrógeno.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Especificaciones de embalaje: Utilice bolsas de plástico selladas al vacío o bolsas de papel de aluminio, de 10 a 50 electrodos por bolsa, llenas de desecante. El embalaje exterior es una caja de cartón o madera resistente a los choques, y la etiqueta incluye el número de modelo, el número de lote, la fecha de producción y la advertencia de seguridad. El embalaje cumple con las normas de la ONU para evitar la acumulación de electricidad estática.

Modo de transporte: el transporte terrestre utiliza vehículos resistentes a los terremotos, con una velocidad < 80 km/h; El transporte aéreo cumple con la normativa IATA y está clasificado como mercancía no peligrosa; El transporte marítimo utiliza contenedores, tratamiento a prueba de humedad. Temperatura de transporte de -10 a 40 °C, evite altas temperaturas y alta humedad.

Gestión de riesgos: El seguro de envío cubre daños, seguimiento GPS y monitoreo en tiempo real. El plan de contingencia incluye el manejo de derrames (usando sorbentes) y el informe de accidentes.

El almacenamiento y el transporte requieren calidad del producto y pérdidas reducidas.

9.6 Principios de fabricación ecológica

Los principios de fabricación ecológica guían la transformación de la producción de electrodos de tungsteno de tierras raras compuestas en bajas emisiones de carbono y baja contaminación, enfatizando la eficiencia de los recursos y la armonía ambiental. Estos principios se basan en la norma ISO 14001, incluida la producción más limpia, la circularidad y la gestión de la energía. La siguiente es una explicación detallada del marco principal, la estrategia de implementación, la aplicación de la tecnología y el análisis de beneficios.

Marco principal: 1. Conservación de recursos: optimizar el uso de tierras raras y reducir los residuos en un 10%. 2. Prevención de la contaminación: adopte un proceso libre de residuos y un crecimiento de cero emisiones. 3. Gestión del ciclo de vida: cobertura total desde el diseño hasta el reciclaje. 4. Mejora continua: Optimizar a través del ciclo PDCA.

Estrategia de implementación: En la producción, utilice la sinterización sanitaria y fitosanitaria para reducir el consumo de energía en un 20%; La materia prima es tungsteno reciclado, con una proporción del > 30%. La tasa de recuperación del sistema de circulación de aguas residuales > del 95%.

Aplicaciones tecnológicas: La IA monitorea el consumo de energía, predice el equipo de mantenimiento; El nanodopaje de tierras raras aumenta la eficiencia en un 15%. Elija proveedores respetuosos con el medio ambiente para cadenas de suministro ecológicas.

Análisis de beneficios: Después de implementar los principios ecológicos, los costos se reducen en un 15% y las emisiones de carbono se reducen en un 25%.

El principio de fabricación ecológica mejora la competitividad y está en línea con el desarrollo sostenible.

9.7 Cumplimiento normativo

El cumplimiento normativo es fundamental para las operaciones de las empresas de electrodos de tungsteno de tierras raras compuestas, ya que cubre las regulaciones ambientales, de seguridad y

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

comerciales. Estas regulaciones garantizan el cumplimiento y evitan multas y daños a la reputación. La siguiente es una discusión detallada de las regulaciones nacionales y extranjeras, los mecanismos de cumplimiento, las evaluaciones de riesgos y los casos.

Regulaciones nacionales: 1. Ley de Protección Ambiental (revisada en 2015): La EIA debe informar que los estándares de emisión cumplen con GB 26451. 2. Ley de Seguridad en el Trabajo (revisada en 2021): formación en seguridad y plan de emergencia. 3. Reglamento sobre la Administración de Tierras Raras (2024): Trazabilidad de la cadena de suministro, gestión de cuotas de exportación.

Normativa internacional: 1. REACH (UE): Registro químico, Límites para sustancias inocuas. 2. OSHA (EE. UU.): Normas de salud ocupacional, límites de exposición. 3. Convenio de Basilea: Control del movimiento transfronterizo de desechos.

Mecanismo de cumplimiento: establecer un departamento de cumplimiento, auditoría anual; Capacitar a los empleados en conocimientos regulatorios; Certificaciones de terceros como ISO 14001.

Evaluación de riesgos: Utilice FODA para analizar los riesgos regulatorios y desarrollar un plan de respuesta.

El cumplimiento de las leyes y reglamentos garantiza el desarrollo a largo plazo de la empresa.



Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

CTIA GROUP LTD

Composite Rare-Earth Tungsten Electrode Introduction

1. Overview of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

3. Applications of Composite Rare-Earth Tungsten Electrode

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

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

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

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

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

4. Packaging and Supply Specifications

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

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

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

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.tungsten.com.cn

Capítulo 10 Tendencia de desarrollo futuro de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras

10.1 Nuevas combinaciones de tierras raras y tecnologías de dopaje

El desarrollo futuro de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras muestra amplias perspectivas en términos de nuevas combinaciones de tierras raras y tecnologías de dopaje. A medida que avanzan la ciencia de los materiales y las técnicas de soldadura, los investigadores continúan explorando nuevas combinaciones de elementos de tierras raras para optimizar aún más las capacidades de emisión de electrones, la estabilidad del arco, la resistencia a altas temperaturas y la vida útil del electrodo. Estas novedosas combinaciones están diseñadas no solo para superar las limitaciones del dopaje tradicional de tierras raras únicas, sino también para personalizarse para escenarios de aplicación específicos. Según las últimas tendencias de investigación en 2025, las nuevas combinaciones de tierras raras implicarán más sinergia de múltiples elementos, adición de trazas de aditivos e innovación en procesos de dopaje inteligentes.

En primer lugar, el enfoque del nuevo conjunto de tierras raras está en el efecto sinérgico de múltiples óxidos de tierras raras. Se ha demostrado que las combinaciones binarias tradicionales como el óxido de cerio (CeO_2) y el óxido de lantano (La_2O_3) reducen el trabajo de escape de electrones a menos de 2,0 eV y mejoran la estabilidad del arco en más del 95%. Pero la tendencia futura cambia a combinaciones ternarias o cuaternarias, como la combinación de óxido de cerio, óxido de lantano y óxido de itrio (Y_2O_3) (relación 1:1:3), que sobresale en soldadura de alta corriente, con una reducción del 15% en la temperatura de la punta del electrodo y una reducción del 20% en la tasa de desgaste. Estudios recientes han demostrado que la adición de óxido de erbio (Er_2O_3) u óxido de lutecio (Lu_2O_3) como cuarto elemento puede refinar aún más el tamaño de grano a 3-5 micras, mejorar la resistencia mecánica a altas temperaturas y es adecuado para la soldadura de aleaciones de titanio en el campo aeroespacial. El electrodo Er-W tiene la menor pérdida de masa a 250 A de corriente y la mejor estabilidad morfológica de la punta, lo que indica el potencial de la combinación Er-W en soldadura de alta resistencia.

La innovación en la tecnología de dopaje es otra dirección clave. Los métodos tradicionales de mezcla mecánica y dopaje químico están evolucionando hacia un dopaje a nivel atómico más preciso, como las técnicas de deposición de vapor o sol-gel para lograr una distribución uniforme de los óxidos de tierras raras en la matriz de tungsteno. El estudio de 2025 enfatiza el dopaje de aditivos traza, como la adición de hidruro de circonio (ZrH_2) en una proporción de 0,1% a 0,5%, que puede controlar el contenido de oxígeno, reducir el tamaño de grano en un 20% y mejorar el rendimiento de la emisión de electrones. Los electrodos de tungsteno de tierras raras dopados con ZrH_2 aumentan la densidad de corriente de emisión de electrones en un 30% y reducen la evaporación del óxido, extendiendo la vida útil a más de 1200 horas. Además, las nuevas tecnologías de dopaje incluyen el dopaje asistido por láser y la deposición electroquímica, que pueden controlar con precisión el tamaño de las partículas de tierras raras hasta 50-200 nm y mejorar el efecto de fortalecimiento de la difusión.

En el futuro, la nueva combinación integrará el diseño asistido por IA para predecir la proporción

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

óptima de tierras raras a través de modelos de aprendizaje automático. Por ejemplo, las simulaciones basadas en la teoría funcional de la densidad (DFT) pueden predecir las funciones de trabajo y la estabilidad térmica de diferentes combinaciones, acelerando el ciclo de investigación y desarrollo. El análisis de mercado muestra que para 2031, la participación de mercado de los nuevos electrodos combinados de tierras raras representará el 40% del mercado total, impulsada por la demanda de soldadura de precisión de vehículos de nueva energía y equipos 5G. El desafío radica en el suministro sostenible de recursos de tierras raras, pero a través de la tecnología de reciclaje, se espera que se alivie la escasez. En general, las nuevas combinaciones de tierras raras y las tecnologías de dopaje promoverán el desarrollo de electrodos compuestos en la dirección de un mayor rendimiento y protección del medio ambiente para satisfacer las necesidades de la Industria 4.0.

10.2 Dopaje de nano óxidos de tierras raras y mejora de la difusión

El dopaje de nano tierras raras y el fortalecimiento de la difusión es una de las direcciones tecnológicas centrales para el desarrollo futuro de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras. Esta tecnología logra una distribución más uniforme y un efecto de fortalecimiento más fuerte al controlar el tamaño de las partículas de óxido de tierras raras a nivel nanométrico ($< 100 \text{ nm}$), mejorando en gran medida las propiedades mecánicas, la estabilidad térmica y la eficiencia de emisión de electrones del electrodo. Las tendencias de la investigación en 2025 muestran que el nanodopaje pasará de la etapa de laboratorio a la industrialización, con aplicaciones en soldadura de alta precisión y fabricación de electrodos en entornos extremos.

El principio de dopaje de los nanoóxidos de tierras raras radica en su alta área de superficie específica y su efecto cuántico, que puede clavar eficazmente el límite del grano de tungsteno e inhibir el crecimiento del grano. Mientras que los tamaños de grano de dopaje a nivel de micras tradicionales son de 5 a 10 micras, el nanodopaje puede refinar los granos a 1-3 micras, mejorando la tenacidad a la fractura en más del 25%. Por ejemplo, la función de trabajo de un electrodo de tungsteno dopado con óxido de lantano (La_2O_3) dopado disminuye a 1,8 eV y la densidad de corriente de emisión de electrones aumenta en un 40%. Estudios recientes han explorado el dopaje compuesto del óxido de nanocerio y el óxido de itrio, como el dopaje de elementos de tierras raras en nanoestructuras WO_3 , que pueden mejorar el rendimiento optoelectrónico y extenderse a aplicaciones de sensores de pH. El electrodo WO_3 dopado con nano- CeO_2 se acerca al valor de Nernst (59 mV/pH) en sensibilidad al pH, con un tiempo de respuesta de unos pocos segundos.

El fortalecimiento de la difusión es el mecanismo clave del nanodopaje, y las nanopartículas de tierras raras se difunden uniformemente en la matriz de tungsteno como segunda fase, bloqueando el movimiento de dislocación y mejorando la resistencia a altas temperaturas. La adición de ZrH_2 como aditivo puede reducir aún más el tamaño medio de grano en un 20% y mejorar la estabilidad de la emisión de electrones. Las técnicas de preparación incluyen el método sol-gel, la molienda de bolas de alta energía y la deposición de vapor. Por ejemplo, el molino Xingxing procesa polvos a 400-600 rpm durante 8-12 horas para lograr un dopaje uniforme a nanoescala. Los estudios han demostrado que las microesferas de WO_3 dopadas con nano- Y_2O_3 tienen altas propiedades piroeléctricas y son adecuadas para aplicaciones de sensores infrarrojos.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Las tendencias futuras incluyen nanocombinaciones de tierras raras múltiples como Sm^{3+} dopado WO_3 para electrocatalizadores bifuncionales con densidades de corriente de hasta 100 mA/en electrolitos ácidos cm^2 . El desafío radica en la aglomeración de nanopartículas y el control de costos, pero puede resolverse mediante modificaciones superficiales como agentes de acoplamiento de silano. El mercado predice que para 2032, el mercado de electrodos nanodopados alcanzará una CAGR del 8,14% y se utilizará en baterías de nueva energía y aeroespacial. El dopaje de nano tierras raras y la mejora de la difusión promoverán la evolución de los electrodos en la dirección de la inteligencia y la multifunción, mejorando su rendimiento en condiciones extremas.

10.3 Integración de la tecnología de optimización de parámetros de soldadura inteligente AI

La integración de la tecnología de optimización de parámetros de soldadura inteligente de IA es una dirección revolucionaria para el desarrollo futuro de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, que ajusta los parámetros de soldadura en tiempo real a través de algoritmos de inteligencia artificial para mejorar la calidad, la eficiencia y el nivel de automatización de la soldadura. Las tendencias en 2025 muestran que la IA se integrará profundamente con los materiales de los electrodos para lograr un mantenimiento predictivo y una soldadura adaptativa, adecuada para condiciones de trabajo complejas como la fabricación de vehículos aeroespaciales y de nueva energía.

En el corazón de la optimización de la IA se encuentran los modelos de aprendizaje automático, como las redes neuronales y la lógica difusa, que se utilizan para predecir parámetros óptimos (corriente, voltaje, flujo de gas). Por ejemplo, el marco de red neuronal profunda difusa predice la geometría de las soldaduras de soldadura TIG con una precisión del 92,59%. Los parámetros de entrada incluyen corriente (50-250 A), velocidad (0,1-0,5 m/min) y tipo de electrodo (WLaCeY), profundidad y ancho de soldadura de salida. A través del entrenamiento de big data, la IA puede optimizar los parámetros y reducir las tasas de defectos en un 30%.

Las tecnologías convergentes incluyen gemelos digitales y reconocimiento de imágenes. El gemelo digital simula el comportamiento del electrodo para predecir la vida útil y la estabilidad; La visión artificial pasiva clasifica los defectos y la tasa de calidad de soldadura de los robots IoT alcanza el 88%. El estudio muestra que el sistema de retroalimentación adaptativa impulsado por IA predice la calidad en función de la degradación del ángulo de la punta del electrodo y optimiza parámetros como el voltaje $< 35 \text{ V}$.

En el futuro, la IA se expandirá a la fusión de datos multimodales, como la combinación de microanálisis SEM y datos de sensores en tiempo real para predecir el rendimiento de las combinaciones de tierras raras. Los desafíos incluyen la privacidad de los datos y la solidez del modelo, pero se abordan a través de la computación de borde. Según el análisis de mercado, para 2031, el mercado de tecnología de soldadura de IA crecerá a una CAGR del 8%, y la IA de fusión de electrodos compuestos dominará la fabricación de precisión. Caso: La IA optimiza los parámetros de soldadura TIG y mejora la resistencia de la soldadura de acero inoxidable en un 10%.

La integración de IA hará que los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras sean

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

inteligentes e impulsará la transformación de la industria de la soldadura 4.0.

10.4 Fabricación ecológica y desarrollo sostenible

La fabricación ecológica y la sostenibilidad son prioridades estratégicas para el desarrollo futuro de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras, con el objetivo de reducir el impacto ambiental, mejorar la eficiencia de los recursos y alinearse con los objetivos globales de neutralidad de carbono. Las tendencias para 2025 muestran un cambio en las tecnologías de preparación ecológicas de los laboratorios a la producción a gran escala, enfatizando los procesos libres de residuos, los ciclos de reciclaje y el uso de energía baja en carbono.

Los principios de fabricación ecológica incluyen una producción más limpia y una economía circular. La contaminación de los gases residuales y las aguas residuales de los procesos tradicionales es grave, y las nuevas tecnologías, como la preparación ecológica de electrodos de tierras raras multicompuestos y la sinterización con SPS de baja energía, pueden reducir las emisiones de carbono en un 25%. La tecnología de recuperación recupera el 85% del tungsteno y el 90% de las tierras raras a través de la disolución ácida y el intercambio iónico, reduciendo la dependencia mineral.

La sostenibilidad se centra en la sostenibilidad de los recursos, como la extracción de tierras raras de los electrodos de desecho, el procesamiento de 100 toneladas de desechos y el reciclaje de 80 toneladas de tungsteno. La optimización de parámetros asistida por IA reduce el consumo de energía en un 20%. Regulaciones como REACH requieren una tasa de reciclaje del > 95%, lo que lleva a las empresas a presentar informes de huella de carbono.

Las tendencias futuras incluyen aditivos de base biológica y energía renovable para impulsar la producción. El mercado predice que para 2032, el mercado de electrodos verdes crecerá a una CAGR del 4,1% y se utilizará en soldaduras respetuosas con el medio ambiente. Caso: Una fábrica implementó la fabricación ecológica, redujo los costos en un 15% y fue certificada.

La fabricación ecológica garantizará que los electrodos compuestos sean sostenibles y contribuyan a una economía baja en carbono.

10.5 Perspectivas de aplicación en la industria aeroespacial, nuclear, de fabricación médica y otros campos

Los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras tienen aplicaciones prometedoras en la industria aeroespacial, nuclear y médica, beneficiándose de su alto rendimiento y características ecológicas. Las tendencias para 2025 muestran que estas áreas impulsarán los electrodos hacia una mayor precisión y durabilidad.

Campo aeroespacial: utilizado para aleaciones de titanio y soldadura a alta temperatura, como palas de motor. La resistencia de soldadura del electrodo WLaCeY > de 900 MPa y la porosidad < del 0,1% en la soldadura TIG. En el futuro, los electrodos nanodopados se utilizarán para imprimir en 3D componentes aeroespaciales, con un aumento del 15% en la precisión y una participación de mercado del 30%.

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Industria nuclear: resistente a la corrosión y altamente estable para la soldadura de tuberías de reactores. La profundidad de penetración del electrodo que contiene zirconio es de 3-5 mm y no hay grietas. En el futuro, los parámetros de optimización de la IA mejorarán la seguridad y la tecnología de reciclaje reducirá la contaminación por residuos.

Fabricación médica: Se utiliza para implantes y protección contra la radiación, como la soldadura de herramientas quirúrgicas. Las características de pureza y baja contaminación son clave, y el dopaje con tierras raras aumenta la conductividad en un 10%. En el futuro, la aplicación de sensores de pH se ampliará y la sensibilidad de los electrodos dopados con CeO_2 es cercana a 59 mV / pH.

Las perspectivas incluyen integraciones versátiles como robots de soldadura fusionados con IA. El mercado creció a una CAGR del 8%, desafiando el suministro de recursos, pero el reciclaje resuelto. Las aplicaciones promoverán la innovación en las industrias de alta tecnología.



Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

Copyright© 2025 CTIA All Rights Reserved
Standard document version number CTIAQCD -MA-E/P 2024 version
www.ctia.com.cn

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

Apéndice

A. Glosario

Electrodo compuesto de tungsteno de tierras raras: Un material de electrodo con múltiples óxidos de tierras raras agregados a una matriz de tungsteno para mejorar el rendimiento de la soldadura.

Pulvimetalurgia: Un método de procesamiento para preparar materiales metálicos a través del moldeo en polvo, la sinterización y otros procesos.

Rendimiento de encendido: La capacidad del electrodo para iniciar el arco a bajas corrientes.

Estabilidad del arco: El arco permanece uniforme y no se desvía durante el proceso de soldadura.

Función de trabajo: La cantidad mínima de energía que los electrones escapan de la superficie de un material.

Soldadura TIG (soldadura con gas inerte de tungsteno): soldadura blindada con gas inerte de tungsteno.

Soldadura por plasma: Una tecnología que utiliza arcos de plasma para soldar.

Forja rotativa: Un proceso en el que las barras se procesan mediante martilleo rotacional.

SEM (microscopio electrónico de barrido): Un microscopio electrónico de barrido utilizado para la observación de microestructuras.

Reo (óxido de tierras raras): óxidos de tierras raras, como La_2O_3 , CeO_2 , etc.

Pruebas no destructivas: Un método para verificar defectos sin dañar la muestra.

Reducción de Hidrógeno: El proceso de reducción del polvo de óxido de tungsteno con hidrógeno.

Prensado isostático en frío: Una técnica de moldeo que compacta el polvo en condiciones de prensado isostático.

Vida útil del arco ardiente: La vida útil del electrodo bajo soldadura continua.

Fabricación ecológica: métodos de producción respetuosos con el medio ambiente y de baja contaminación.

B. Referencias

- [1] Pronóstico del mercado global de electrodos de tungsteno: informe de análisis de mercado, 2023
- [2] Progreso de la investigación sobre materiales compuestos de electrodos de tungsteno de tierras raras - Journal of Rare Earth Materials, 2022
- [3] Aplicación de tierras raras de tungsteno y molibdeno en el campo de las baterías de nueva energía - Informe de investigación de la industria, 2024
- [4] Tecnología de industrialización del electrodo de tungsteno de tierras raras multicompuesto - Estudio de viabilidad del proyecto, 2020
- [5] Análisis de rendimiento de materiales de electrodos de aluminio de tierras raras - Materials Science Journal, 2021
- [6] Investigación sobre la cadena de suministro de materiales clave de tierras raras - Informe CTCI, 2022
- [7] Mecanismo de sinterización de electrodos de tungsteno de tierras raras compuestos ternarios - Transacciones metalúrgicas, 2023
- [8] Guía de selección de equipos de electrodos de tungsteno de tierras raras - Materials Processing Journal, 2022

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal

- [9] Tecnología de preparación de electrodos de tungsteno de tierras raras compuestos multicomponente - Science and Technology Innovation, 2024
- [10] Estado de desarrollo y aplicación de aleaciones de tungsteno - Revista de metales no ferrosos, 2021
- [11] Especificaciones de seguridad de los electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras - Industrial Safety Journal, 2023
- [12] Pruebas de rendimiento de electrodos compuestos de tungsteno de tierras raras - Journal of Materials Science, 2023
- [13] Pruebas de propiedades mecánicas de electrodos de tungsteno - Transacciones metalúrgicas, 2022
- [14] Análisis de microestructura de electrodos de tungsteno de tierras raras - Journal of Rare Earths, 2021
- [15] Detección de composición química de electrodos de tungsteno - Química analítica, 2024
- [16] Tecnología de detección de defectos de electrodos de tungsteno - NDT Journal, 2023
- [17] Evaluación de la vida útil de los electrodos de tungsteno de tierras raras - Reliability Engineering, 2022
- [18] Control de calidad de electrodos de tungsteno compuestos - Revista de control de calidad, 2024
- [19] Método de prueba de rendimiento de electrodos de tungsteno de tierras raras - Journal of Materials Testing, 2022
- [20] El impacto del Reglamento REACH en la fabricación de electrodos - Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas, 2024
- [21] Interpretación de las regulaciones de gestión de tierras raras - Informe de política de la industria china, 2024
- [22] Tecnología de equipos de producción de electrodos de tungsteno de tierras raras compuestas - Industrial Equipment Journal, 2023
- [23] Equipos de proceso de producción de electrodos de tungsteno de tierras raras - Advanced Materials Processing, 2021

Declaración de derechos de autor y responsabilidad legal