

Guía completa de alambre de pulverización de molibdeno

中钨智造科技有限公司
CTIA GROUP LTD

CTIA GRUPO LTD

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

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

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 del 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 de tungsteno, molibdeno y 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 de su empresa matriz, servicios superiores y reputación comercial global, 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 cuenta oficial que alcanzan miles de millones de veces, se ha convertido en un centro de información global y autorizado reconocido para las industrias de tungsteno, molibdeno y tierras raras, que brinda 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 centra en satisfacer las necesidades personalizadas de los clientes. Utilizando la tecnología de IA, diseña y produce de forma colaborativa productos de tungsteno y molibdeno con composiciones químicas y propiedades físicas específicas (como el tamaño de partícula, la densidad, la dureza, la resistencia, las dimensiones y las 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 embalaje y la logística. Durante los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha proporcionado 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 la fabricación inteligente y la innovación integrada de materiales de tungsteno y molibdeno en la era del 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 análisis de conocimientos, tecnología, precios del tungsteno y tendencias del 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. Adhiriéndose al principio de proporcionar información profesional y de alta calidad a la industria, el equipo de CTIA GROUP escribe continuamente documentos 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 a la innovación tecnológica, la promoción de productos y los intercambios industriales 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

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Directorio

Capítulo 1: Introducción

- 1.1 Definición y concepto de alambre de pulverización de molibdeno
- 1.2 La evolución histórica del alambre de pulverización de molibdeno
- 1.3 Valor industrial y perspectivas de aplicación del alambre de pulverización de molibdeno
- 1.4 Estado técnico y de investigación del alambre de pulverización de molibdeno en el país y en el extranjero

Capítulo 2: Características del alambre de pulverización de molibdeno

- 2.1 Propiedades físicas del alambre de pulverización de molibdeno
 - 2.1.1 Punto de fusión y conductividad térmica
 - 2.1.2 Densidad y dureza
 - 2.1.3 Coeficiente de expansión térmica y estabilidad térmica
 - 2.1.4 Conductividad y resistividad
- 2.2 Propiedades químicas del alambre de pulverización de molibdeno
 - 2.2.1 Resistencia a la corrosión
 - 2.2.2 Resistencia a la oxidación
 - 2.2.3 Inercia química y reactividad
- 2.3 Propiedades mecánicas del alambre de pulverización de molibdeno
 - 2.3.1 Resistencia a la tracción y límite elástico
 - 2.3.2 Ductilidad y tenacidad a la fractura
 - 2.3.3 Resistencia al desgaste y propiedades de fatiga
- 2.4 Rendimiento del recubrimiento por pulverización
 - 2.4.1 Adherencia del recubrimiento y fuerza de unión
 - 2.4.2 Porosidad y uniformidad del recubrimiento
 - 2.4.3 Resistencia del recubrimiento a altas temperaturas y choque térmico
 - 2.4.4 Rugosidad superficial y microestructura de los recubrimientos
- 2.5 Hoja de datos de seguridad del alambre de pulverización de molibdeno de CTIA GROUP LTD

Capítulo 3: Proceso de preparación y producción de alambre de pulverización de molibdeno

- 3.1 Preparación de las materias primas
 - 3.1.1 Tecnología de beneficio y purificación de mineral de molibdeno
 - 3.1.2 Proceso de producción de polvo de molibdeno de alta pureza
 - 3.1.3 Control de calidad y pruebas de polvo de molibdeno
- 3.2 Proceso de formación de alambre de molibdeno
 - 3.2.1 Tecnología de moldeo por pulvimetalurgia
 - 3.2.2 Proceso de trefilado de molibdeno
 - 3.2.2.1 Trefilado de un solo troquel
 - 3.2.2.2 Trefilado continuo multimodo
 - 3.2.3 Recocido y alivio de tensiones con alambre de molibdeno
 - 3.2.4 Limpieza y pulido de superficies
- 3.3 Procesamiento especial para alambre de pulverización de molibdeno

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- 3.3.1 Tratamiento de activación superficial
- 3.3.2 Personalización de especificaciones
- 3.3.3 Tecnología de modificación de superficies
- 3.4 Proceso de pulverización
 - 3.4.1 Pretratamiento superficial de sustratos
 - 3.4.1.1 Arenado mecánico
 - 3.4.1.2 Limpieza química
 - 3.4.1.3 Limpieza ultrasónica
 - 3.4.2 Tecnología de pulverización térmica
 - 3.4.2.1 Proceso de pulverización con llama
 - 3.4.2.2 Proceso de pulverización con plasma
 - 3.4.2.3 Proceso de pulverización por arco
 - 3.4.2.4 Oxicorte de alta velocidad (HVOF)
 - 3.4.3 Tratamiento posterior a la pulverización
 - 3.4.3.1 Tratamiento térmico y recocido
 - 3.4.3.2 Recubrimiento, pulido y acabado
 - 3.4.3.3 Tratamiento de sellado del recubrimiento
- 3.5 Optimización del proceso de producción
 - 3.5.1 Optimización y control de los parámetros del proceso
 - 3.5.2 Sistema de aseguramiento de la calidad
 - 3.5.3 Fabricación ecológica y tecnologías de ahorro de energía
- 3.6 Puntos técnicos clave
 - 3.6.1 Tecnología de preparación de alambre de molibdeno de alta pureza
 - 3.6.2 Control de calidad del recubrimiento por pulverización
 - 3.6.3 Eficiencia y consistencia de la pulverización
- 3.7 Aplicación de tecnología avanzada
 - 3.7.1 Tecnología de pulverización nanométrica
 - 3.7.2 Tecnología de pulverización asistida por láser
 - 3.7.3 Tecnología de pulverización en frío
 - 3.7.4 Sistema de pulverización inteligente y automatizado
- 3.8 Desafíos técnicos y soluciones
 - 3.8.1 Recubrimiento, descamación y agrietamiento
 - 3.8.2 Oxidación a alta temperatura y degradación del rendimiento
 - 3.8.3 Equilibrio entre el coste de producción y la eficiencia
 - 3.8.4 Adaptabilidad a la pulverización de sustratos complejos

Capítulo 4: Clasificación del alambre de pulverización de molibdeno

- 4.1 Clasificación por pureza
 - 4.1.1 Alambre de molibdeno de alta pureza
 - 4.1.2 Alambre de molibdeno dopado
- 4.2 Clasificación por uso
 - 4.2.1 Para pulverización industrial
 - 4.2.2 Para recubrimiento funcional

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- 4.3 Clasificación según el proceso de pulverización
- 4.3.1 Para la pulverización de llama
- 4.3.2 Para la pulverización por arco
- 4.3.3 Para pulverización de plasma
- 4.3.4 Para la pulverización de oxicombustible a alta velocidad (HVOF)
- 4.3.5 Para pulverización en frío

Capítulo 5: Usos del alambre de pulverización de molibdeno

- 5.1 Campo aeroespacial
 - 5.1.1 álabes de turbina y componentes del motor
 - 5.1.2 Piezas estructurales de alta temperatura y recubrimientos de barrera térmica
 - 5.1.3 Recubrimiento resistente al desgaste y anticorrosión para naves espaciales
- 5.2 Industria automotriz
 - 5.2.1 Recubrimiento del pistón y del bloque del motor
 - 5.2.2 Recubrimiento resistente a altas temperaturas para el sistema de escape
 - 5.2.3 Recubrimiento resistente al desgaste para el sistema de frenos
- 5.3 Industrias químicas y energéticas
 - 5.3.1 Tuberías y válvulas resistentes a la corrosión
 - 5.3.2 Recubrimientos de reactores e intercambiadores de calor
 - 5.3.3 Recubrimientos para equipos de energía solar y eólica
- 5.4 Industria electrónica y de semiconductores
 - 5.4.1 Alambre calefactor para recubrimiento al vacío
 - 5.4.2 Cables y electrodos semiconductores
 - 5.4.3 Recubrimiento de deposición de película delgada
- 5.5 Medicina y Bioingeniería
 - 5.5.1 Elementos calefactores para dispositivos médicos
 - 5.5.2 Recubrimientos resistentes a la corrosión para dispositivos médicos
- 5.6 Otras áreas de aplicación
 - 5.6.1 Recubrimientos anticorrosivos para buques e ingeniería en alta mar
 - 5.6.2 Recubrimientos resistentes al desgaste para maquinaria de construcción
 - 5.6.3 Estufas de alta temperatura y equipos de tratamiento térmico

Capítulo 6: Equipo de producción para alambre de pulverización de molibdeno

- 6.1 Equipo de procesamiento de materias primas
 - 6.1.1 Equipo de preparación y reducción de polvo de molibdeno
 - 6.1.2 Hornos de sinterización y equipos de forja
- 6.2 Equipo de producción de alambre de molibdeno
 - 6.2.1 Trefiladoras y matrices
 - 6.2.2 Hornos de recocido y equipos de tratamiento térmico
 - 6.2.3 Equipos de limpieza y pulido de superficies
- 6.3 Equipo de pulverización
 - 6.3.1 Sistemas de pulverización de llama
 - 6.3.2 Equipo de pulverización por plasma

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- 6.3.3 Dispositivo de pulverización por arco
- 6.3.4 Equipos de oxipulverización de alta velocidad (HVOF)
- 6.4 Equipos auxiliares y de postratamiento
 - 6.4.1 Equipo de pretratamiento de sustratos
 - 6.4.2 Equipo de postratamiento de recubrimiento
 - 6.4.3 Equipos de detección y seguimiento en línea
- 6.5 Automatización y equipos inteligentes
 - 6.5.1 Línea de producción de pulverización automática
 - 6.5.2 Sistemas inteligentes de control y adquisición de datos
 - 6.5.3 Sistemas de pulverización robotizados

Capítulo 7: Normas nacionales y extranjeras para el alambre de pulverización de molibdeno

- 7.1 Normas nacionales
 - 7.1.1 GB/T 4181-2017 "Alambre de molibdeno" y requisitos relacionados
 - 7.1.2 GB/t 3462-2017
 - 7.1.3 GB/t 4197-2011
 - 7.1.4 Otras normas nacionales pertinentes
- 7.2 Normas internacionales
 - 7.2.1 ASTM B387-18
 - 7.2.2 Especificación ISO 20407 para materiales de pulverización térmica
 - 7.2.3 Alambre ISO 14919 para pulverización térmica
 - 7.2.4 Otras normas internacionales
- 7.3 Estándares de la industria y especificaciones de la empresa
 - 7.3.1 Normas de la industria de metales no ferrosos
 - 7.3.2 Estándares de la industria de pulverización térmica
 - 7.3.3 Especificaciones internas de control de calidad
- 7.4 Comparación estándar y análisis de aplicabilidad
 - 7.4.1 Diferencias entre las normas nacionales y extranjeras
 - 7.4.2 Selección y escenarios de aplicación estándar

Capítulo 8: Pruebas y control de calidad del alambre de pulverización de molibdeno

- 8.1 Pruebas de materias primas
 - 8.1.1 Análisis de la composición química
 - 8.1.2 Detección del tamaño y la morfología de las partículas
 - 8.1.3 Detección del contenido de impurezas
- 8.2 Inspección de calidad del alambre de molibdeno
 - 8.2.1 Precisión dimensional y tolerancia
 - 8.2.2 Detección de defectos y rugosidades superficiales
 - 8.2.3 Ensayos de propiedades mecánicas
- 8.3 Inspección de recubrimientos por pulverización
 - 8.3.1 Espesor y uniformidad del recubrimiento
 - 8.3.2 Ensayo de adherencia del recubrimiento
 - 8.3.3 Análisis de microestructura y porosidad

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

- 8.3.4 Resistencia a la corrosión y a altas temperaturas
- 8.3.5 Rendimiento de choque térmico
- 8.4 Tecnología y equipo de prueba
 - 8.4.1 Fluorescencia de rayos X (XRF)
 - 8.4.2 Análisis SEM y EDS
 - 8.4.3 Ensayos de dureza (Vickers, Rockwell)
 - 8.4.4 Ensayos de espesor por ultrasonidos y láser
 - 8.4.5 Otras tecnologías avanzadas de detección
- 8.5 Sistema de Gestión de Calidad
 - 8.5.1 Certificación ISO 9001
 - 8.5.2 Informes de pruebas y trazabilidad
 - 8.5.3 Análisis y mejora de defectos

Capítulo 9: Tendencia de desarrollo y perspectivas futuras

- 9.1 Tendencia de desarrollo técnico
 - 9.1.1 Nuevos materiales y procesos de pulverización
 - 9.1.2 Producción inteligente y digital
 - 9.1.3 Tecnología de recubrimiento compuesto
- 9.2 Demanda del mercado y expansión de aplicaciones
 - 9.2.1 Potencial en las industrias emergentes
 - 9.2.2 Análisis de tendencias del mercado global
- 9.3 Protección del medio ambiente y sostenibilidad
 - 9.3.1 Tecnología de pulverización ecológica
 - 9.3.2 Valorización y reciclaje de residuos
- 9.4 Intercambio técnico y cooperación internacional
 - 9.4.1 Armonización de las normas internacionales
 - 9.4.2 Investigación y desarrollo transfronterizos y colaboración

Apéndice

- A. Glosario de términos
- B. Referencias

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Capítulo 1 Introducción

1.1 Definición y concepto de alambre de pulverización de molibdeno

1.1.1 Definición básica de alambre de pulverización de molibdeno

El alambre de pulverización de molibdeno es un material de alambre metálico utilizado específicamente en el proceso de pulverización térmica, generalmente hecho de molibdeno de alta pureza (Molibdeno, símbolo químico Mo, número atómico 42). El molibdeno es un metal de transición con propiedades como alto punto de fusión (alrededor de 2623 °C), alta resistencia, resistencia a la corrosión y excelente conductividad térmica, lo que lo convierte en uno de los materiales importantes en el campo de la pulverización térmica. La pulverización térmica es una técnica de ingeniería de superficies que crea una capa de recubrimiento con una función específica mediante la pulverización de material fundido o semiderretido sobre la superficie de un sustrato a alta velocidad. Como materia prima para la pulverización térmica, el alambre de pulverización de molibdeno se utiliza generalmente en forma de pulverización por arco o pulverización con llama, y su objetivo principal es formar una capa de recubrimiento de molibdeno resistente al desgaste, a altas temperaturas o a la corrosión en la superficie del sustrato.

La forma típica de alambre de pulverización de molibdeno es un alambre metálico delgado, generalmente de entre 1,0 mm y 3,2 mm de diámetro, según el equipo de pulverización y los requisitos del proceso. El alambre de molibdeno se calienta a un estado fundido o semifundido por una pistola rociadora durante el proceso de pulverización, y luego se acelera mediante un gas comprimido (como nitrógeno o aire) sobre el sustrato objetivo para formar un recubrimiento uniforme. Dichos recubrimientos suelen tener alta dureza, bajo coeficiente de fricción y buena fuerza de unión, lo que puede mejorar significativamente las propiedades de la superficie del sustrato.

1.1.2 Propiedades físicas y químicas del molibdeno

Las propiedades físicas y químicas únicas del molibdeno son la base para su uso como material de recubrimiento. El molibdeno tiene una densidad de 10,28 g/cm³, que es menor que el tungsteno (19,25 g/cm³) pero mayor que muchos metales comunes, lo que permite que los recubrimientos de molibdeno logren un buen equilibrio entre peso y rendimiento. El molibdeno tiene un alto punto de fusión de 2623 °C, solo superado por el tungsteno y el renio, lo que le permite mantener la estabilidad estructural y la resistencia mecánica a altas temperaturas. Además, el molibdeno es más resistente a los ácidos, álcalis y ciertos gases corrosivos que muchos otros metales, especialmente en ambientes no oxidantes.

El molibdeno tiene un bajo coeficiente de expansión térmica (alrededor de $4,8 \times 10^{-6}/K$), lo que significa que en entornos con cambios drásticos de temperatura, hay menos estrés térmico entre el recubrimiento de molibdeno y el sustrato, lo que reduce el riesgo de agrietamiento o descamación del recubrimiento. El molibdeno también tiene una buena conductividad eléctrica y térmica (conductividad térmica de aproximadamente 138 W / m·K), lo que hace que el recubrimiento formado por el alambre de pulverización de molibdeno sea ventajoso en aplicaciones donde se requiere conductividad térmica o eléctrica. Además, el molibdeno es autolubricante bajo ciertas

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

condiciones, especialmente a altas temperaturas o en vacío, lo que amplía aún más sus escenarios de aplicación.

1.1.3 Proceso de preparación del alambre de pulverización de molibdeno

La preparación del alambre de pulverización de molibdeno requiere múltiples procesos para garantizar su alta pureza y propiedades físicas consistentes. El alambre de molibdeno generalmente se prepara mediante tecnología de pulvimetalurgia, y los pasos específicos incluyen:

Extracción de concentrado de molibdeno: El concentrado de molibdeno se extrae del mineral de molibdeno (como la molibdenita) para eliminar las impurezas mediante flotación y purificación química.

Producción de polvo de molibdeno: el concentrado de molibdeno se tuesta para producir óxido de molibdeno (MoO_3), y luego se obtiene polvo de molibdeno de alta pureza por reducción de hidrógeno.

Formación de palanquilla de molibdeno: El polvo de molibdeno se prensa en una varilla o placa en blanco y se sinteriza a altas temperaturas para aumentar la densidad.

Trefilado: A través de forjado en caliente, laminado y múltiples procesos de trefilado, la palanquilla de molibdeno se procesa en filamentos para lograr el diámetro y el acabado superficial requeridos para la pulverización.

Tratamiento de la superficie: El alambre de molibdeno se limpia, se recoce o se dopa para optimizar sus propiedades mecánicas y su efecto de pulverización.

Por lo general, se requiere que la pureza del alambre de molibdeno alcance más del 99.95% para garantizar la calidad del recubrimiento en aerosol. Algunos alambres de pulverización de molibdeno pueden doparse con pequeñas cantidades de elementos (como lantano, cerio o potasio) para mejorar su resistencia a la oxidación o ductilidad a alta temperatura.

1.1.4 El papel del alambre de pulverización de molibdeno en la pulverización térmica

En el proceso de pulverización térmica, el alambre de molibdeno se introduce en la pistola de pulverización mediante un equipo de pulverización por arco o por llama, y cuando se calienta, forma gotas fundidas o partículas semifundidas. Estas partículas golpean la superficie del sustrato bajo la acción de corrientes de aire de alta velocidad, se enfrían y solidifican rápidamente, formando una capa densa. Las principales funciones del recubrimiento de molibdeno incluyen:

Protección contra el desgaste: La alta dureza del recubrimiento de molibdeno (aprox. 5,5 en la escala de Mohs) lo hace eficaz contra el desgaste mecánico.

Protección contra altas temperaturas: El alto punto de fusión del molibdeno lo hace adecuado para su uso en componentes en entornos de alta temperatura, como las palas de las turbinas de los motores aeronáuticos.

Protección contra la corrosión: La resistencia a la corrosión del molibdeno a ciertos productos químicos lo hace adecuado para su uso en equipos químicos o entornos marinos.

Propiedades autolubricantes: Los recubrimientos de molibdeno pueden formar óxido de molibdeno (MoO_3) a altas temperaturas o en entornos de vacío, y tienen un bajo coeficiente de fricción, lo que

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

los hace adecuados para su uso en piezas deslizantes.

1.1.5 Comparación del alambre de pulverización de molibdeno con otros materiales de pulverización

En comparación con los materiales de pulverización comunes, como las aleaciones a base de níquel, el tungsteno o la cerámica, el alambre de pulverización de molibdeno ofrece las siguientes ventajas:

Rentable: El molibdeno cuesta menos que el tungsteno y algunos metales preciosos, pero tiene un rendimiento similar y es adecuado para aplicaciones industriales a gran escala.

Versatilidad: Los recubrimientos de molibdeno son resistentes a la abrasión, a las altas temperaturas y a la corrosión, y son adecuados para una amplia gama de aplicaciones.

Facilidad de procesamiento: La ductilidad del alambre de molibdeno hace que sea fácil de dibujar en diferentes especificaciones y adaptarse a una variedad de equipos de pulverización.

Sin embargo, el molibdeno es propenso a la formación de óxidos volátiles (MoO_3) en atmósferas oxidantes, lo que limita su aplicación en algunos ambientes oxidantes de alta temperatura. Por el contrario, los recubrimientos cerámicos pueden ser mejores en términos de resistencia a la oxidación, pero son más frágiles y no tienen una fuerza de unión tan fuerte como los recubrimientos de molibdeno.

1.1.6 Especificaciones y clasificación del alambre de pulverización de molibdeno

El alambre rociador de molibdeno se puede dividir en una variedad de especificaciones de acuerdo con el uso y los requisitos del proceso, y las clasificaciones comunes incluyen:

Alambre de molibdeno puro: $\geq 99,95\%$ de pureza, utilizado en procesos de pulverización estándar.

Alambre de molibdeno dopado: Dopado con elementos como lantano (La), cerio (Ce) o potasio (K) para mejorar la resistencia a la oxidación o la ductilidad.

Clasificación del diámetro: Los diámetros comunes incluyen 1,0 mm, 1,6 mm, 2,0 mm, 3,2 mm, etc., que son adecuados para diferentes equipos de pulverización.

Clasificación del tratamiento de la superficie: como [alambre de molibdeno negro](#) (sin limpiar, con una capa de óxido en la superficie) y alambre de [molibdeno blanco](#) (superficie brillante después de la limpieza).

Estas clasificaciones permiten que el alambre de pulverización de molibdeno satisfaga las necesidades de diferentes aplicaciones industriales, como la aeroespacial, la fabricación de automóviles y los equipos energéticos.

1.2 La evolución histórica del alambre de pulverización de molibdeno

1.2.1 Descubrimiento y aplicación temprana del molibdeno

El descubrimiento del molibdeno se remonta al siglo XVIII. En 1778, el químico sueco Carl Wilhelm Scheele aisló por primera vez el óxido de molibdeno de la molibdenita y lo llamó "molibdeno" (derivado de la palabra griega "molybdos", que significa una sustancia similar al plomo). En 1781, el químico sueco Peter Jacob Hjelm preparó el molibdeno metálico por primera

[Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

vez mediante la reducción de carbono, sentando las bases para la aplicación industrial del molibdeno.

A finales del siglo XIX, el molibdeno comenzó a utilizarse como elemento de aleación en la industria siderúrgica para mejorar la resistencia y la resistencia a la corrosión del acero. Sin embargo, debido a las limitaciones de la tecnología de purificación y procesamiento de molibdeno, su ámbito de aplicación es relativamente estrecho, principalmente limitado al campo metalúrgico. Hasta principios del siglo XX, con el progreso de la pulvimetalurgia y la tecnología de trefilado, la preparación del alambre de molibdeno se hizo posible, proporcionando las condiciones para su aplicación en el campo de la pulverización.

1.2.2 Origen de la tecnología de pulverización térmica

La tecnología de pulverización térmica se originó a principios del siglo XX. En 1910, el ingeniero suizo Max Ulrich Schoop inventó la técnica de pulverización de llama, que derretía y rociaba polvo metálico o alambre sobre la superficie del sustrato quemando gas combustible. La aparición de esta tecnología brinda la posibilidad de la aplicación de alambre de pulverización de molibdeno. En la década de 1920, se introdujo la tecnología de pulverización por arco, que utilizaba un arco eléctrico para calentar el alambre y generar gotas fundidas, mejorando aún más la eficiencia de la pulverización y la calidad del recubrimiento.

La primera pulverización térmica utilizaba principalmente metales fundibles, como el zinc y el aluminio, para los revestimientos anticorrosivos. Como metal con un alto punto de fusión, la aplicación de molibdeno en la pulverización térmica comenzó tarde, y no fue hasta mediados del siglo XX, con el desarrollo de las superaleaciones y la industria aeroespacial, que la aplicación de alambre de molibdeno por pulverización atrajo gradualmente la atención.

1.2.3 Desarrollo temprano del alambre de pulverización de molibdeno

En los años 50 del siglo XX, el alambre de pulverización de molibdeno comenzó a surgir en el campo industrial. La industria aeroespacial en los EE. UU. fue pionera en la aplicación de recubrimientos de molibdeno a las palas de las turbinas y los componentes de la cámara de combustión para combatir las altas temperaturas y los problemas de desgaste. El alto punto de fusión y la resistencia al desgaste del molibdeno lo convierten en un material de recubrimiento ideal, especialmente en turbinas de gas y motores a reacción. Al mismo tiempo, la industria en Europa y Japón comenzó a explorar la aplicación de la pulverización de alambre de molibdeno en la construcción de máquinas, como recubrimientos resistentes al desgaste para anillos de pistón y cojinetes.

Durante este período, la tecnología de preparación del alambre de pulverización de molibdeno todavía era relativamente tosca, y la pureza y la calidad de la superficie del alambre de molibdeno eran inestables, lo que resultaba en grandes fluctuaciones en las propiedades del recubrimiento. En la década de 1960, con los avances en la tecnología de fusión al vacío y reducción de hidrógeno, se mejoró significativamente la pureza del alambre de molibdeno y se mejoraron la fuerza de unión y la durabilidad de los recubrimientos en aerosol.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

1.2.4 Desarrollo de la tecnología moderna de alambre de pulverización de molibdeno

Después de los años 70 del siglo XX, la tecnología de pulverización térmica entró en una etapa de rápido desarrollo. La llegada de la pulverización por plasma y la pulverización por llama de alta velocidad (HVOF) ha mejorado significativamente la calidad de los recubrimientos por pulverización, lo que permite que los recubrimientos de molibdeno se utilicen en entornos más exigentes. Por ejemplo, la pulverización de llama a alta velocidad puede crear un recubrimiento de molibdeno más denso, reducir la porosidad y mejorar la fuerza de unión del recubrimiento al sustrato.

Durante el mismo período, se logró un gran avance en la tecnología de dopaje del alambre de molibdeno. El alambre de molibdeno dopado con lantano o cerio exhibe una mejor resistencia a la oxidación y ductilidad en entornos de alta temperatura, ampliando el campo de aplicación del alambre de pulverización de molibdeno. En la década de 1980, el alambre de pulverización de molibdeno comenzó a usarse ampliamente en la industria automotriz para fabricar anillos de pistón y anillos sincronizadores resistentes al desgaste, lo que extendió significativamente la vida útil de las piezas.

1.2.5 El desarrollo del alambre de pulverización de molibdeno en China

La industria del molibdeno de China comenzó tarde, pero se está desarrollando rápidamente. En los años 60 del siglo XX, China comenzó a extraer molibdeno de la molibdenita y gradualmente estableció la capacidad de producción de alambre de molibdeno. En la década de 1980, con el avance de la reforma y la apertura y la modernización industrial, las empresas de productos de molibdeno de China comenzaron a introducir equipos extranjeros avanzados de trefilado y pulverización, y la producción y aplicación de alambre de pulverización de molibdeno entró en un período de rápido desarrollo.

En la década de 1990, China se convirtió en el mayor productor mundial de molibdeno, y la tecnología de producción de alambre de molibdeno maduró gradualmente. A través de la innovación tecnológica, las principales empresas de productos de molibdeno de China han desarrollado alambre de molibdeno de alta pureza y alambre de molibdeno dopado para satisfacer las necesidades de los mercados de fumigación nacionales y extranjeros. Después de 2000, el alambre de pulverización de molibdeno de China comenzó a exportarse a los mercados de Europa, América y el sudeste asiático, convirtiéndose en una parte importante de la cadena de suministro mundial de productos de molibdeno.

1.2.6 Hitos en el recubrimiento de alambre de molibdeno

1910: Se inventó la tecnología de pulverización térmica, sentando las bases para la aplicación de alambre de pulverización de molibdeno.

Década de 1950: La pulverización de alambre de molibdeno se utiliza por primera vez en el sector aeroespacial.

Década de 1970: Las tecnologías de pulverización de plasma y pulverización de llama de alta velocidad impulsan un mejor rendimiento del recubrimiento de molibdeno.

Década de 1980: Desarrollo de alambre de molibdeno dopado para mejorar la resistencia a la oxidación de los recubrimientos.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Después del año 2000, China se convirtió en una base importante para la producción mundial de alambre de molibdeno y la tecnología de pulverización.

1.3 Valor industrial y perspectivas de aplicación del alambre de pulverización de molibdeno

1.3.1 Valor industrial del alambre de pulverización de molibdeno

Como material central en la tecnología de pulverización térmica, el valor industrial del alambre de pulverización de molibdeno se refleja en sus propiedades físicas y químicas únicas, una amplia gama de escenarios de aplicación y su contribución a la eficiencia y sostenibilidad de la industria moderna. El alto punto de fusión, la alta dureza, la resistencia a la corrosión y las propiedades autolubricantes del molibdeno lo hacen insustituible en el campo de la ingeniería de superficies. A continuación, se presenta un análisis detallado de su valor industrial desde múltiples dimensiones.

1.3.1.1 Mejorar la durabilidad y la vida útil de los componentes

El recubrimiento formado por alambre de pulverización de molibdeno prolonga significativamente la vida útil de los componentes mecánicos con su alta dureza (alrededor de 5.5-6.0 en la escala de Mohs) y resistencia al desgaste. Por ejemplo, en la industria automotriz, los anillos de pistón y los anillos sincronizadores son componentes críticos en motores y transmisiones que están sujetos a fricción de alta frecuencia y entornos de alta temperatura durante largos períodos de tiempo. Mientras que los segmentos de pistón convencionales sin recubrimiento pueden desgastarse durante miles de horas bajo cargas elevadas, los segmentos de pistón con recubrimiento de molibdeno pueden prolongar su vida útil en un factor de 2-3, con algunos casos mostrando una vida útil de más de 100.000 km. Esta mayor durabilidad reduce directamente los costos de mantenimiento y el tiempo de inactividad de los equipos.

Además, la estabilidad de los recubrimientos de molibdeno en entornos de alta temperatura los hace de gran valor en la industria aeroespacial. Por ejemplo, los álabes de las turbinas de gas funcionan en entornos de combustión a más de 1000 °C, y los recubrimientos de molibdeno son eficaces para resistir la fatiga térmica y el desgaste, lo que prolonga la vida útil de las palas. Según los datos de la industria, el intervalo de mantenimiento de los álabes de las turbinas recubiertas de molibdeno puede extenderse entre un 20% y un 30%, lo que reduce significativamente el costo del ciclo de vida completo de los motores aeronáuticos.

1.3.1.2 Mejorar la eficiencia de la operación del equipo

El bajo coeficiente de fricción (tan bajo como 0.1-0.2 bajo ciertas condiciones) de los recubrimientos de molibdeno los hace autolubricantes, lo que puede reducir significativamente las pérdidas por fricción en los componentes mecánicos y, por lo tanto, mejorar la eficiencia operativa del equipo. En la industria automotriz, la aplicación de anillos de pistón recubiertos de molibdeno puede reducir el consumo de energía por fricción dentro del motor y mejorar la eficiencia del combustible en aproximadamente un 1%-2%. Sobre la base de la producción anual mundial de 80 millones de vehículos, si el 10% del motor utiliza anillos de pistón recubiertos de molibdeno, se pueden ahorrar millones de toneladas de combustible cada año y los beneficios económicos y ambientales son significativos.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

En el sector aeroespacial, los recubrimientos de molibdeno se utilizan en las cámaras de combustión y las toberas de los motores a reacción para reducir la pérdida de material a altas temperaturas y garantizar un empuje estable. Los estudios han demostrado que la eficiencia térmica de las cámaras de combustión recubiertas de molibdeno puede mejorarse en aproximadamente un 0,5%, lo cual es importante en el sector aeroespacial, ya que incluso pequeñas ganancias de eficiencia pueden reducir significativamente el consumo de combustible y los costos operativos.

1.3.1.3 Reducir los costes de producción y mantenimiento

En comparación con los recubrimientos metálicos o cerámicos de alto punto de fusión, como el tungsteno y el renio, el molibdeno tiene un rendimiento de mayor costo. Las reservas mundiales de molibdeno son relativamente abundantes (alrededor de 25 millones de toneladas, de las cuales China representa más del 50%), y los costos de purificación y procesamiento son más bajos que los del tungsteno (alrededor de 1/2-1/3). El costo del alambre de pulverización de molibdeno es de aproximadamente \$ 50 a \$ 100 por kilogramo, mientras que el costo del alambre de tungsteno puede alcanzar más de \$ 200. Esto hace que los recubrimientos de molibdeno sean más ventajosos económicamente para aplicaciones industriales a gran escala.

Además, las propiedades restauradoras de los recubrimientos de molibdeno son uno de sus valores importantes. Los recubrimientos de molibdeno desgastados se pueden reparar volviendo a rociar sin reemplazar toda la pieza. Por ejemplo, en la reparación de rodamientos de maquinaria pesada, la aplicación de recubrimiento de molibdeno puede reducir los costos de reparación en más del 50% y reducir el tiempo de inactividad. Esta naturaleza restauradora es particularmente importante en las industrias de minería, acero y energía, donde los reemplazos de equipos grandes son costosos y requieren mucho tiempo.

1.3.1.4 Cumplir con los requisitos de protección del medio ambiente y desarrollo sostenible

El molibdeno es un material metálico no tóxico y respetuoso con el medio ambiente que cumple con los requisitos de la directiva RoHS de la UE y las regulaciones REACH. En comparación con los recubrimientos tradicionales a base de plomo o cadmio, los recubrimientos de molibdeno no liberan sustancias nocivas durante la producción y el uso, y son inofensivos para el medio ambiente y la salud humana. Además, la durabilidad del recubrimiento de molibdeno reduce la frecuencia de reemplazo de piezas, lo que reduce el consumo de recursos y la generación de desechos, en línea con el concepto de fabricación verde.

En términos de eficiencia energética, las propiedades autolubricantes de los recubrimientos de molibdeno reducen el uso de aceites lubricantes. Por ejemplo, en los motores de automóviles, los anillos de pistón recubiertos de molibdeno pueden reducir el consumo de lubricante en aproximadamente un 10 por ciento, lo que reduce los costos de eliminación de aceite usado. Esto es de gran importancia para la promoción global de una economía baja en carbono y una economía circular.

1.3.1.5 Promover la inteligencia y la eficiencia industrial

Con el avance de la Industria 4.0, la demanda de materiales de alto rendimiento para la fabricación

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

inteligente está aumentando. El procesamiento preciso y la uniformidad del recubrimiento del alambre de pulverización de molibdeno le permiten cumplir con los requisitos de la fabricación de precisión. Por ejemplo, en uniones robóticas y herramientas de corte de alta velocidad, los recubrimientos de molibdeno pueden reducir la fricción y la acumulación de calor, mejorando la precisión del movimiento y la vida útil de la herramienta. Los estudios han demostrado que la vida útil de las herramientas de corte recubiertas de molibdeno se puede prolongar entre un 30% y un 50%, lo que tiene ventajas significativas en las líneas de producción automatizadas.

Además, la conductividad del recubrimiento de molibdeno (resistividad de aproximadamente $5,5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$) y la conductividad térmica (aprox. $138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) lo hacen único en dispositivos electrónicos y energéticos. Por ejemplo, en los equipos de fabricación de semiconductores, los recubrimientos de molibdeno se pueden utilizar para electrodos y componentes termoconductores para mejorar la estabilidad y la eficiencia de disipación de calor del equipo.

1.3.2 Principales áreas de aplicación

El recubrimiento de alambre de pulverización de molibdeno es ampliamente utilizado en muchos campos industriales debido a su versatilidad, y a continuación se presenta un análisis detallado de sus principales escenarios de aplicación:

1.3.2.1 Aeroespacial

La industria aeroespacial es una de las áreas de aplicación más importantes para el alambre de pulverización de molibdeno. Los recubrimientos de molibdeno se utilizan principalmente para componentes de alta temperatura, como álabes de turbinas, cámaras de combustión, boquillas y álabes guía. Por ejemplo, en los motores turbofán del Boeing 737 y el Airbus A320, se utilizan recubrimientos de molibdeno para proteger los álabes de la turbina del desgaste y mantener un rendimiento estable por encima de los $1200 \text{ }^\circ\text{C}$. El coeficiente de expansión térmica del recubrimiento de molibdeno (aproximadamente $4,8 \times 10^{-6} / \text{K}$) es similar al de las superaleaciones a base de níquel, lo que reduce el desconchado del recubrimiento causado por el estrés térmico.

Además, los recubrimientos de molibdeno también se utilizan en los sistemas de protección térmica de las naves espaciales. Por ejemplo, algunas partes de la nave Starship de SpaceX están recubiertas de molibdeno para soportar el calor extremo durante el reingreso. Los estudios han demostrado que las propiedades autolubricantes de los recubrimientos de molibdeno en un entorno de vacío los hacen particularmente adecuados para las partes deslizantes de las naves espaciales, como los mecanismos de accionamiento de las antenas de los satélites.

1.3.2.2 Industria automovilística

La industria automotriz es uno de los mercados más grandes para el alambre de pulverización de molibdeno, con aproximadamente el 30% del alambre de pulverización de molibdeno del mundo utilizado en la fabricación de piezas de automóviles. Los recubrimientos de molibdeno se utilizan principalmente en componentes como anillos de pistón, anillos sincronizadores, cigüeñales y válvulas. Por ejemplo, el Grupo Volkswagen ha hecho un uso extensivo de los segmentos de pistón recubiertos de molibdeno en sus motores TSI para mejorar la eficiencia del combustible y la

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

durabilidad. Los datos muestran que los segmentos de pistón recubiertos de molibdeno pueden reducir las pérdidas por fricción en aproximadamente un 15%, mejorando significativamente el rendimiento del motor.

Además, el recubrimiento de molibdeno también tiene potencial en el campo de los vehículos de nueva energía. Por ejemplo, los cojinetes de motor y los engranajes de transmisión de los vehículos eléctricos pueden recubrirse con molibdeno para mejorar la resistencia al desgaste y la conductividad térmica y prolongar la vida útil. Se estima que para 2030, la producción mundial de vehículos de nueva energía superará los 30 millones, y la demanda del mercado de recubrimientos de molibdeno crecerá aún más.

1.3.2.3 Equipos energéticos

En el sector energético, los recubrimientos de molibdeno se utilizan ampliamente en calderas, intercambiadores de calor, turbinas de gas y equipos de energía nuclear. Por ejemplo, en las tuberías de las calderas de las centrales eléctricas de carbón, los recubrimientos de molibdeno son capaces de resistir la corrosión y la abrasión a alta temperatura, prolongando la vida útil de las tuberías aproximadamente 2 veces. En la energía nuclear, los recubrimientos de molibdeno se utilizan en los componentes de protección contra la radiación de los reactores y son eficaces para absorber la radiación de neutrones debido a su alta densidad (10,28 g/cm³) y a su no toxicidad.

Los equipos de energía renovable también son un área de aplicación importante para los recubrimientos de molibdeno. Por ejemplo, el recubrimiento de molibdeno en la superficie del engranaje de la caja de engranajes de la turbina eólica reduce el desgaste y la lubricación y reduce los costos de mantenimiento. A medida que la capacidad mundial instalada de energía eólica supera los 1.000 GW para 2024, la demanda de recubrimientos de molibdeno en equipos de energía eólica continúa creciendo.

1.3.2.4 Fabricación de maquinaria

En ingeniería mecánica, los recubrimientos de molibdeno se utilizan para la protección de superficies de rodamientos, engranajes, moldes y herramientas de corte. Por ejemplo, en equipos de minería, las brocas recubiertas de molibdeno pueden extender la vida útil en más del 50% y reducir la frecuencia de reemplazo del equipo. En los moldes de inyección, el recubrimiento de molibdeno puede reducir la adhesión de los moldes a los plásticos, mejorar la eficiencia de liberación del molde y la calidad de la superficie del producto.

1.3.2.5 Ingeniería química y marina

La resistencia a la corrosión de los recubrimientos de molibdeno lo hace ampliamente utilizado en equipos químicos e ingeniería en alta mar. Por ejemplo, en los reactores petroquímicos, los recubrimientos de molibdeno son resistentes a los gases ácidos y a la corrosión a alta temperatura, lo que prolonga la vida útil del equipo. En plataformas marinas y equipos marinos, los recubrimientos de molibdeno protegen las estructuras de acero de la corrosión del agua de mar y son particularmente adecuados para su uso en tuberías y válvulas en plataformas de perforación en aguas profundas.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

1.3.2.6 Industrias médicas y electrónicas

En el campo médico, los recubrimientos de molibdeno se utilizan en componentes de protección contra la radiación de equipos de rayos X y máquinas de tomografía computarizada debido a su no toxicidad y alta densidad. Por ejemplo, en los escáneres de tomografía computarizada de Siemens Healthineers, los recubrimientos de molibdeno se utilizan para proteger contra la radiación y garantizar la calidad de la imagen y la seguridad del paciente. En la industria electrónica, los recubrimientos de molibdeno se utilizan en las partes térmicas y eléctricamente conductoras de los equipos de fabricación de semiconductores, como los electrodos de las máquinas de grabado por plasma, y su conductividad térmica puede mejorar la eficiencia de disipación de calor del equipo en aproximadamente un 20%.

1.3.3 Perspectivas de aplicación y tendencias del mercado

1.3.3.1 Potencial en el ámbito de las nuevas energías

Con la transición energética mundial, la demanda de recubrimientos de alto rendimiento para equipos de nueva energía está creciendo rápidamente. Los recubrimientos de molibdeno tienen un futuro prometedor en equipos eólicos, nucleares y solares. Por ejemplo, el recubrimiento de molibdeno en la superficie del engranaje de las cajas de engranajes de las turbinas eólicas reduce el desgaste y mejora la eficiencia de la transmisión. En el campo de la energía nuclear, los recubrimientos de molibdeno se pueden utilizar en las carcassas de las barras de combustible de los reactores nucleares de cuarta generación para resistir las altas temperaturas y el daño por radiación. Se estima que para 2030, el mercado mundial de equipos de nueva energía superará los 1,5 billones de dólares estadounidenses y la demanda de recubrimientos de molibdeno crecerá a una tasa anual promedio del 6%.

1.3.3.2 Fabricación inteligente e industria 4.0

La Industria 4.0 hace hincapié en la inteligencia, la automatización y la alta eficiencia, y las perspectivas de aplicación del recubrimiento de molibdeno en la fabricación de precisión son significativas. Por ejemplo, en las articulaciones de los robots, los recubrimientos de molibdeno reducen la fricción y la acumulación de calor, lo que mejora la precisión del movimiento y la longevidad. En los equipos de impresión 3D, las boquillas recubiertas de molibdeno son capaces de resistir el desgaste de los materiales fundidos a alta temperatura y prolongar su vida útil. Se espera que el mercado mundial de fabricación inteligente alcance los 500.000 millones de dólares en 2028, y los recubrimientos de molibdeno se beneficiarán como material clave.

1.3.3.3 Ingeniería marina y buques ecológicos

Existe una creciente demanda de recubrimientos resistentes a la corrosión en la ingeniería en alta mar. Los recubrimientos de molibdeno se utilizan ampliamente en plataformas de perforación en aguas profundas, equipos de energía eólica marina y barcos ecológicos. Por ejemplo, los recubrimientos de molibdeno se pueden usar para proteger la superficie de las hélices de los barcos, reducir la corrosión del agua de mar y la adhesión biológica, y mejorar la eficiencia de la propulsión. Se espera que el mercado mundial en alta mar alcance los \$ 200 mil millones para 2030, y los recubrimientos de molibdeno serán una solución importante.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

1.3.3.4 Medicina y biotecnología

La no toxicidad y la biocompatibilidad de los recubrimientos de molibdeno les dan potencial en dispositivos médicos. Por ejemplo, en los implantes ortopédicos, los recubrimientos de molibdeno pueden mejorar la resistencia al desgaste y a la corrosión de los implantes y prolongar su vida útil. Además, el uso de recubrimientos de molibdeno en herramientas dentales e instrumentos quirúrgicos está aumentando gradualmente. Se espera que el mercado mundial de dispositivos médicos alcance los \$ 600 mil millones para 2027, y la demanda de recubrimientos de molibdeno continuará creciendo.

1.3.3.5 Tamaño del mercado y beneficios económicos

Según datos de la industria, el tamaño del mercado mundial de molibdeno será de aproximadamente \$ 5 mil millones en 2024, de los cuales el alambre de pulverización de molibdeno representa aproximadamente el 10% de la participación. Se espera que para 2030, el mercado de alambre de pulverización de molibdeno crezca a una tasa anual promedio del 5.5% hasta alcanzar los \$ 800 millones. Como el mayor productor de molibdeno del mundo, China representa más del 50% de la producción mundial, y muchas empresas chinas se han convertido en importantes proveedores del mercado mundial de alambre de pulverización de molibdeno a través de la innovación tecnológica y la producción a gran escala.

1.3.4 Estudio de caso

1.3.4.1 Caso aeroespacial: GE Aviation

General Electric (GE) Aviation hace un uso extensivo de recubrimientos de molibdeno en sus motores GEnx para la protección contra el desgaste de los álabes de las turbinas. Los motores GEnx se utilizan en el Boeing 787 Dreamliner, y el recubrimiento de molibdeno mantiene los álabes de la turbina estables en entornos de alta temperatura y alta presión, extendiendo los intervalos de mantenimiento en un 25 por ciento. Esta aplicación ahorra a GE Aviation cientos de millones de dólares en costos de mantenimiento cada año.

1.3.4.2 Caso para la industria automotriz: Volkswagen

Volkswagen utiliza anillos de pistón recubiertos de molibdeno en su motor TSI de 1.4L, lo que mejora significativamente la eficiencia del combustible y la durabilidad. Las pruebas han demostrado que los segmentos de pistón recubiertos de molibdeno reducen las pérdidas por fricción en un 15% y prolongan la vida útil del motor a más de 150.000 km. Esta tecnología se ha extendido a varios modelos del Grupo Volkswagen, con una producción anual de más de 5 millones de unidades en todo el mundo.

1.3.4.3 Caso de equipos energéticos: energía eólica Siemens

Siemens Gamesa utiliza un recubrimiento de molibdeno en sus cajas de engranajes eólicos marinos para reducir el desgaste de los engranajes y el uso de lubricantes. Las pruebas han demostrado una vida útil un 40% más larga y una reducción del 30% en los costos de mantenimiento de los engranajes recubiertos de molibdeno. Esta tecnología se ha aplicado a varios proyectos eólicos marinos en todo el mundo.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

1.4 Estado técnico y de investigación del alambre de pulverización de molibdeno en el país y en el extranjero

1.4.1 Situación actual de la investigación nacional

Como el mayor productor de molibdeno del mundo (alrededor de 150.000 toneladas en 2024, lo que representa el 50% del total mundial), China tiene ventajas significativas en la investigación, el desarrollo y la aplicación de alambre de pulverización de molibdeno. Las instituciones y empresas de investigación nacionales han logrado avances importantes en la preparación de alambre de molibdeno, la optimización del proceso de pulverización y la mejora del rendimiento del recubrimiento. El siguiente es un análisis detallado del estado actual de la investigación en China:

1.4.1.1 Principales instituciones de investigación

Instituto de Investigación de Metales, Academia China de Ciencias: El equipo de ingeniería de superficies del instituto se centra en la investigación de recubrimientos a base de molibdeno y ha desarrollado una tecnología de preparación de alambre de molibdeno dopado con lantano (La) y cerio (Ce). Los resultados muestran que la resistencia a la oxidación del alambre de molibdeno dopado con lantano al 1% se incrementa en un 30% y la vida útil del recubrimiento se prolonga en un 50% en una atmósfera oxidante a 1000 °C. Además, el instituto estudió la microestructura de los recubrimientos de molibdeno y mejoró la dureza y la fuerza de unión de los recubrimientos mediante el control del tamaño de grano (10-50 nm).

Universidad de Ciencia y Tecnología de Beijing: La Escuela de Ciencia e Ingeniería de Materiales de la misma universidad ha estudiado los efectos de la tecnología de pulverización de plasma y pulverización de llama de alta velocidad (HVOF) en el rendimiento de los recubrimientos de molibdeno. Los resultados experimentales muestran que la porosidad del recubrimiento de molibdeno formado por el proceso HVOF se reduce a menos del 1%, y la fuerza de unión alcanza los 80 MPa, que es significativamente mejor que la de la pulverización por arco tradicional (la porosidad es de aproximadamente el 5% y la fuerza de unión es de aproximadamente 50 MPa).

Universidad de Tsinghua: El Departamento de Materiales de la Universidad de Tsinghua ha desarrollado una tecnología de pulverización en frío para la preparación de recubrimientos de molibdeno, que forman recubrimientos de alta densidad a través del impacto de partículas de ultra alta velocidad, reduciendo el estrés térmico y la formación de óxido. Los recubrimientos de molibdeno por pulverización en frío están disponibles con una dureza de hasta HV800 para aplicaciones de componentes de alta precisión.

1.4.1.2 Principales empresas

CTIA GROUP LTD.: Como empresa líder en productos de molibdeno en China, Chinatungsten Online se centra en la producción de alambre de molibdeno de alta pureza (pureza $\geq 99,95\%$), proporcionando alambre de pulverización de molibdeno con un diámetro de 1,0-3,2 mm.

1.4.1.3 Enfoque de la investigación

Tecnología de dopaje: Dopaje de elementos de tierras raras o metales alcalinos (como el potasio) para mejorar la resistencia a la oxidación a alta temperatura y las propiedades mecánicas del alambre

[Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

de molibdeno. Por ejemplo, el alambre de molibdeno dopado con cerio al 0,8% reduce la tasa de oxidación en un 40% a 1200 °C.

Optimización del proceso de pulverización: La pulverización por plasma y la optimización de los parámetros del proceso HVOF, como la distancia de pulverización (100-150 mm), el caudal de gas (50-80 L/min) y la intensidad de corriente (400-600 A), se estudian para reducir la porosidad del recubrimiento y mejorar la resistencia de la unión.

Fabricación ecológica: Desarrollar equipos de pulverización de baja energía y un proceso de recubrimiento de molibdeno respetuoso con el medio ambiente para reducir las emisiones de escape y el consumo de energía en el proceso de pulverización. Por ejemplo, el uso de nitrógeno en lugar de argón como gas de pulverización puede reducir los costos en aproximadamente un 15%.

1.4.1.4 Casos de aplicación

Sistema de frenado ferroviario de alta velocidad: el disco de freno EMU de CRRC adopta un recubrimiento de molibdeno, que mejora la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas en un 50% y extiende la vida útil del disco de freno a 10 años.

Equipo petroquímico: Sinopec aplicó un recubrimiento de molibdeno a la tubería de la unidad de craqueo catalítico para resistir la corrosión del gas ácido, y la vida útil de la tubería se extendió 3 veces.

1.4.2 Situación actual de la investigación extranjera

La investigación y aplicación del alambre de pulverización de molibdeno en países extranjeros comenzó antes, especialmente en los Estados Unidos, Alemania y Japón, y la tecnología relacionada se encuentra en la posición de liderazgo en el mundo. A continuación se presenta un análisis detallado del estado actual de la investigación en el extranjero:

1.4.2.1 Principales instituciones y empresas de investigación

Praxair, EE.UU.: Praxair, líder mundial en tecnología de pulverización térmica, ha desarrollado un sistema de pulverización por plasma capaz de producir recubrimientos de molibdeno con una porosidad de menos del 0,5% y una fuerza de unión de hasta 100 MPa. La compañía ha investigado recubrimientos compuestos a base de molibdeno para mejorar la dureza y la resistencia al desgaste del recubrimiento mediante la adición de partículas cerámicas como Al_2O_3 .

Höganäs, Alemania: Höganäs se centra en el desarrollo de recubrimientos compuestos a base de molibdeno, investigando un proceso de pulverización híbrido de aleaciones a base de molibdeno y níquel para formar recubrimientos que sean resistentes al desgaste y a la corrosión. Sus productos son ampliamente utilizados en los mercados de automoción y equipos energéticos en Europa.

Toshiba de Japón: Toshiba ha estudiado la resistencia a la oxidación a alta temperatura de los recubrimientos de molibdeno en el campo aeroespacial y ha desarrollado alambre de molibdeno dopado con itrio (Y), que mejora la resistencia a la oxidación en un 40% a 1300 °C. El

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

recubrimiento de molibdeno de Toshiba se utiliza en la cámara de combustión de las turbinas de gas, lo que prolonga la vida útil de los componentes en aproximadamente un 30%.

Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT): El Laboratorio de Ciencia de Materiales del MIT ha investigado la preparación de recubrimientos de molibdeno a nanoescala para mejorar la dureza (HV900) y la resistencia al desgaste mediante el control del tamaño de grano del recubrimiento (5-20 nm). Los recubrimientos de nano molibdeno son ampliamente utilizados en equipos semiconductores.

1.4.2.2 Enfoque de la investigación

Recubrimientos compuestos: Investigación sobre recubrimientos compuestos de molibdeno con cerámica (por ejemplo, ZrO_2 , Al_2O_3) o metales (por ejemplo, Ni, Cr) para mejorar la versatilidad de los recubrimientos. Por ejemplo, los recubrimientos compuestos de molibdeno- Al_2O_3 pueden alcanzar una dureza de HV1000 y un aumento del 50% en la resistencia al desgaste.

Nano recubrimiento: El recubrimiento de molibdeno a nanoescala se prepara mediante pulverización en frío y tecnología de pulverización asistida por láser para reducir la porosidad y la rugosidad de la superficie ($Ra \leq 0,1 \mu m$) y mejorar el rendimiento del recubrimiento.

Pulverización inteligente: Desarrollar equipos de pulverización automatizados que combinen inteligencia artificial y tecnología de sensores para supervisar los parámetros de pulverización (por ejemplo, temperatura, velocidad del flujo de aire) en tiempo real para mejorar la consistencia del recubrimiento y la eficiencia de la producción.

1.4.2.3 Casos de aplicación

Boeing: El motor turbofán del Boeing 787 utiliza álabes de turbina recubiertos de molibdeno, lo que mejora el rendimiento a altas temperaturas en un 20% y prolonga los intervalos de mantenimiento en un 25%.

Mitsubishi Heavy Industries: Mitsubishi Heavy Industries aplicó un recubrimiento de molibdeno en la cámara de combustión de la turbina de gas para resistir la corrosión a alta temperatura a 1400 °C y prolongar la vida útil de los componentes en un 40%.

1.4.3 Situación técnica y desafíos

1.4.3.1 Estado de la técnica

En la actualidad, la tecnología del alambre de pulverización de molibdeno ha sido relativamente madura y las principales características técnicas incluyen:

Alambre de molibdeno de alta pureza: La pureza del alambre de pulverización de molibdeno principal del mundo ha alcanzado más del 99,95% y la resistencia a la oxidación de algunos alambres de molibdeno dopados se ha mejorado significativamente.

Procesos de pulverización avanzados: Los procesos de pulverización por plasma y HVOF pueden formar recubrimientos de molibdeno con una porosidad de menos del 1% y una fuerza de unión de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

80-100 MPa.

Producción automatizada: el equipo de pulverización inteligente monitorea los parámetros de pulverización a través del sensor, y la uniformidad del espesor del recubrimiento se controla dentro de $\pm 5 \mu\text{m}$.

1.4.3.2 Desafíos técnicos

Resistencia insuficiente a la oxidación: El molibdeno es propenso a formar óxidos volátiles (MoO_3) en atmósferas oxidantes de alta temperatura, lo que limita su aplicación en algunos entornos de alta temperatura.

Porosidad del recubrimiento: Los recubrimientos de molibdeno con pulverización de arco tradicional tienen una alta porosidad (3%-5%), lo que afecta la durabilidad y la resistencia a la corrosión.

Control de costos: El costo de producción del alambre de molibdeno de alta pureza es alto (alrededor de 50-100 dólares estadounidenses / kg) y el proceso de purificación y estirado debe optimizarse aún más.

Adaptabilidad de sustratos complejos: La uniformidad del recubrimiento de molibdeno es difícil de controlar en sustratos no planos o de formas complejas, y es necesario desarrollar nuevos equipos de pulverización.

1.4.4 Futuras líneas de investigación

1.4.4.1 Nuevas tecnologías de dopaje

Desarrollar elementos de dopaje más eficientes (por ejemplo, itrio, cerio, circonio) y procesos de dopaje para mejorar la resistencia a la oxidación y la ductilidad de los alambres de molibdeno. Por ejemplo, la tasa de oxidación del alambre de molibdeno dopado con circonio al 0,5% se puede reducir en un 50% a 1400 °C.

1.4.4.2 Tecnología de pulverización avanzada

Promover la tecnología de pulverización en frío y asistida por láser para reducir el estrés térmico y la formación de óxido en los revestimientos. Los recubrimientos de molibdeno rociados en frío se pueden utilizar con una porosidad tan baja como 0,2% y una fuerza de unión de hasta 120 MPa, lo que los hace adecuados para aplicaciones de alta precisión.

1.4.4.3 Fabricación inteligente y ecológica

Desarrolle un sistema de pulverización inteligente que utilice el aprendizaje automático para optimizar los parámetros de pulverización y mejorar la consistencia del recubrimiento. Investigación de procesos de pulverización respetuosos con el medio ambiente para reducir el consumo de energía y las emisiones de escape. Por ejemplo, los equipos de pulverización alimentados por energía renovable pueden reducir las emisiones de carbono en un 20%.

1.4.4.4 Compuestos y nano-recubrimientos

Investigue recubrimientos compuestos y nanorrecubrimientos a base de molibdeno, combinados con cerámica, metales u otros materiales de alto rendimiento para formar recubrimientos multifuncionales. Por ejemplo, los recubrimientos compuestos de molibdeno- ZrO_2 pueden aumentar

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

la resistencia al desgaste hasta en un 60 por ciento y son adecuados para aplicaciones aeroespaciales y energéticas.

1.4.4.5 Aplicaciones interdisciplinarias

Explore la aplicación de recubrimientos de molibdeno en biomedicina, nuevas energías y electrónica. Por ejemplo, en dispositivos electrónicos flexibles, los recubrimientos de molibdeno se pueden utilizar en la preparación de películas conductoras; En los implantes biológicos, los recubrimientos de molibdeno mejoran la resistencia a la corrosión y la biocompatibilidad.



CTIA GROUP LTD alambre de pulverización de molibdeno

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 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- 2024V
sales@chinatungsten.com

Capítulo 2 Características del alambre de pulverización de molibdeno

2.1 Propiedades físicas del alambre de pulverización de molibdeno

Las propiedades físicas del alambre de pulverización de molibdeno son la base de su material de pulverización térmica, lo que determina su aplicabilidad a alta temperatura, alta presión y condiciones de trabajo complejas. Como metal de transición de alto punto de fusión, el molibdeno tiene una excelente conductividad térmica, un bajo coeficiente de expansión térmica y una alta densidad, lo que lo hace ampliamente utilizado en la industria aeroespacial, automotriz y equipos de energía. El siguiente es un análisis detallado desde cuatro aspectos: punto de fusión y conductividad térmica, densidad y dureza, coeficiente de expansión térmica y estabilidad térmica, conductividad y resistividad.

2.1.1 Punto de fusión y conductividad térmica del alambre de pulverización de molibdeno

El punto de fusión del molibdeno es de 2623 °C (4753 °F), que es el segundo después del tungsteno (3422 °C) y el renio (3186 °C) entre los metales comunes, y mucho más alto que el hierro (1538 °C) y el níquel (1455 °C). Este alto punto de fusión permite que el alambre de pulverización de molibdeno permanezca estructuralmente estable en entornos de temperatura extremadamente alta, lo que lo hace particularmente adecuado para el recubrimiento de superficies de componentes de alta temperatura, como álabes de turbinas de motores aeronáuticos, cámaras de combustión de turbinas de gas y reactores petroquímicos. Por ejemplo, el recubrimiento formado por el alambre de pulverización de molibdeno puede soportar altas temperaturas transitorias de hasta 1400 °C en turbinas de gas sin fundirse ni ablandarse significativamente.

En el proceso de pulverización térmica, el alambre de molibdeno se calienta hasta un estado fundido o semifundido mediante un arco eléctrico o una llama. El alto punto de fusión significa que el equipo de pulverización requiere un alto aporte de energía (por ejemplo, la pulverización con plasma puede alcanzar temperaturas de hasta 15.000 °C), pero también garantiza que las partículas de molibdeno fundido mantengan una alta viscosidad durante el proceso de pulverización, lo que da como resultado un recubrimiento denso. Los resultados muestran que las propiedades del punto de fusión de los recubrimientos de molibdeno les permiten mantener un cierto grado de estabilidad en atmósferas oxidantes de alta temperatura, aunque la resistencia a la oxidación debe mejorarse aún más mediante dopaje o recubrimientos compuestos.

Conductividad térmica: La conductividad térmica del molibdeno es de 138 W/m·K (a 20°C), que es superior a la del acero (unos 50 W/m·K) pero inferior a la del cobre (unos 400 W/m·K). Esta propiedad le da a los recubrimientos de molibdeno una ventaja en escenarios donde se requiere una rápida disipación de calor. Por ejemplo, en las máquinas de grabado por plasma para equipos de fabricación de semiconductores, los electrodos recubiertos de molibdeno pueden conducir eficazmente el calor, evitar el sobrecalentamiento del equipo y mejorar la estabilidad operativa. La conductividad térmica también afecta la velocidad de enfriamiento de las gotas durante la pulverización, y una conductividad térmica más alta ayuda a que las gotas se solidifiquen rápidamente en la superficie del sustrato, reduciendo el estrés térmico y la porosidad en el recubrimiento.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

En la práctica, la conductividad térmica del recubrimiento de molibdeno disminuye ligeramente a altas temperaturas. Por ejemplo, a 1000 °C, la conductividad térmica del molibdeno cae a unos 110 W/m·K, pero sigue siendo suficiente para la mayoría de las necesidades industriales. Por el contrario, los recubrimientos cerámicos (por ejemplo, circonio, con una conductividad térmica de aproximadamente 2 W/m·K) tienen una conductividad térmica deficiente y son propensos a la acumulación de calor, mientras que los recubrimientos de molibdeno tienen más ventajas en el equilibrio de la conductividad térmica y la resistencia mecánica.

2.1.2 Densidad y dureza del alambre de pulverización de molibdeno

Densidad El molibdeno tiene una densidad de 10,28 g/cm³, que es inferior al tungsteno (19,25 g/cm³) pero superior al níquel (8,91 g/cm³) y al hierro (7,87 g/cm³). Esta densidad media proporciona un buen equilibrio entre peso y rendimiento, lo que la hace especialmente adecuada para componentes de las industrias aeroespacial y automotriz donde se requiere ligereza. Por ejemplo, en los anillos de pistón de automóviles, los recubrimientos de molibdeno brindan una excelente resistencia al desgaste sin aumentar significativamente el peso.

La densidad del recubrimiento de molibdeno afecta directamente su calidad de pulverización. La menor densidad ayuda a que las gotas mantengan un buen flujo durante el proceso de pulverización, lo que reduce las pérdidas por salpicaduras durante el proceso de pulverización. Los resultados muestran que la densidad del recubrimiento formado por el alambre de pulverización de molibdeno por arco puede alcanzar los 9,8-10,0 g/cm³, lo que está cerca del valor teórico, lo que indica que el recubrimiento tiene una alta compacidad.

La dureza del molibdeno es de 5.5-6.0 en la escala de Mohs (alrededor de 200-250 en la escala Vickers), y la dureza del recubrimiento de molibdeno formado por pulverización suele estar entre HV300-500, dependiendo del proceso de pulverización y el tratamiento posterior. Por ejemplo, el proceso de pulverización de llama de alta velocidad (HVOF) puede formar recubrimientos de molibdeno con una dureza de hasta HV450, mientras que los recubrimientos de pulverización de plasma suelen ser de alrededor de HV350. La alta dureza del recubrimiento de molibdeno lo hace resistente al desgaste mecánico y es especialmente adecuado para componentes de alta fricción como anillos de pistón, cojinetes y herramientas de corte.

La dureza también está estrechamente relacionada con la microestructura del recubrimiento. El tamaño de grano de los recubrimientos de molibdeno suele ser de 10 a 50 μm, y el tamaño de grano más pequeño ayuda a mejorar la dureza y la resistencia al desgaste. Al doparse con elementos de tierras raras como el lantano o el cerio, el grano se puede refinar aún más y la dureza se puede aumentar a HV550. Por ejemplo, una investigación realizada por el Instituto de Investigación de Metales de la Academia China de Ciencias mostró que los recubrimientos de molibdeno dopados con lantano al 1% aumentaron su dureza en un 15% y su resistencia al desgaste en un 20%.

2.1.3 Coeficiente de expansión térmica y estabilidad térmica del alambre de pulverización de molibdeno

El coeficiente de expansión térmica del molibdeno es de $4,8 \times 10^{-6}/K$ (20-1000 °C), que es mucho

[Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

más bajo que el del acero (alrededor de $12 \times 10^{-6}/K$) y el aluminio (alrededor de $23 \times 10^{-6}/K$), y cerca del de las superaleaciones a base de níquel (aproximadamente $5,0 \times 10^{-6}/K$). El bajo coeficiente de expansión térmica permite que los recubrimientos de molibdeno reduzcan el estrés térmico en entornos con cambios drásticos de temperatura, lo que reduce el riesgo de agrietamiento o descamación del recubrimiento. Por ejemplo, en los motores aeronáuticos, el recubrimiento de molibdeno se adapta bien a la expansión térmica del sustrato de aleación a base de níquel, lo que garantiza la estabilidad del recubrimiento durante los ciclos de frío y calor.

Durante la pulverización térmica, el coeficiente de expansión térmica afecta la calidad de la unión del recubrimiento al sustrato. Si la diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre el sustrato y el recubrimiento es demasiado grande, se generará una gran tensión residual cuando el recubrimiento se enfríe después de rociar a altas temperaturas, lo que hará que el recubrimiento se desprenda. El bajo coeficiente de expansión térmica de los recubrimientos de molibdeno los hace adecuados para una amplia gama de sustratos metálicos como aceros inoxidables, aleaciones de titanio y superaleaciones.

Estabilidad térmica La estabilidad térmica de los recubrimientos de molibdeno se debe a su alto punto de fusión y baja volatilidad. En atmósferas no oxidantes como el nitrógeno o el vacío, los recubrimientos de molibdeno son estables por encima de $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ y son adecuados para su uso en hornos de vacío, electrodos y componentes de naves espaciales. Sin embargo, en una atmósfera oxidante, el molibdeno genera óxidos volátiles (MoO_3) por encima de $500\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que resulta en una disminución de la calidad del recubrimiento. Para resolver este problema, los investigadores han desarrollado alambres de molibdeno dopados (como el potasio dopado o el cerio) y recubrimientos compuestos (como el molibdeno- Al_2O_3) para mejorar la estabilidad térmica. Por ejemplo, un recubrimiento de molibdeno dopado con cerio al 0,8% puede prolongar su vida útil en un 30% en una atmósfera oxidante a $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.1.4 Conductividad y resistividad del alambre de pulverización de molibdeno

Conductividad: La conductividad del molibdeno es de aproximadamente $1,8 \times 10^7\text{ S/m}$ ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$), que es inferior a la del cobre ($5,9 \times 10^7\text{ S/m}$) pero superior a la del acero inoxidable (aproximadamente $1,4 \times 10^6\text{ S/m}$). Esta propiedad otorga a los recubrimientos de molibdeno una ventaja en aplicaciones donde se requiere conductividad eléctrica, como electrodos en equipos de fabricación de semiconductores y capas conductoras para componentes electrónicos. La alta conductividad del recubrimiento de molibdeno también reduce la resistencia del arco durante la pulverización, lo que ayuda a estabilizar el proceso de pulverización por arco.

Resistencia La resistividad del molibdeno es de $5,5 \times 10^{-8}\text{ }\Omega \cdot \text{m}$ ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) con un ligero aumento de temperatura (alrededor de $2,0 \times 10^{-7}\text{ }\Omega \cdot \text{m}$) a $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$). La baja resistividad permite que el recubrimiento de molibdeno mantenga una buena conductividad en entornos de alta temperatura, lo que lo hace adecuado para electrodos de alta temperatura y elementos calefactores resistivos. Por ejemplo, en los electrodos de un horno de vidrio, el recubrimiento de molibdeno es capaz de conducir la electricidad de manera estable a $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que prolonga la vida útil del electrodo en aproximadamente un 40%.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

En el proceso de pulverización térmica, la resistividad del alambre de molibdeno afecta la eficiencia energética de la pulverización por arco. Una menor resistividad significa una menor pérdida de potencia, lo que lo hace adecuado para la producción industrial a gran escala. Los estudios han demostrado que la optimización de los parámetros de pulverización por arco (por ejemplo, corrientes de 400 a 600 A) puede aumentar la utilización de energía hasta en un 15%.

2.2 Propiedades químicas del alambre de pulverización de molibdeno

Las propiedades químicas del alambre de pulverización de molibdeno determinan su rendimiento en entornos corrosivos y condiciones de oxidación a alta temperatura. La inercia química, la resistencia a la corrosión y la resistencia a la oxidación del molibdeno (bajo ciertas condiciones) lo hacen ampliamente utilizado en equipos químicos, marinos y energéticos. Se analiza desde tres aspectos: resistencia a la corrosión, resistencia a la oxidación, inercia química y reactividad.

2.2.1 Resistencia a la corrosión del alambre de pulverización de molibdeno

El molibdeno tiene una excelente resistencia a la corrosión a los ácidos no oxidantes (por ejemplo, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico) y soluciones alcalinas. Por ejemplo, en el ácido clorhídrico a una concentración del 10%, el molibdeno tiene una tasa de corrosión de solo 0,01 mm/año, que es mucho menor que el acero inoxidable (alrededor de 0,1 mm/año). Esta propiedad hace que los recubrimientos de molibdeno sean importantes para aplicaciones en reactores petroquímicos, tuberías químicas y equipos marinos. En el agua de mar, los recubrimientos de molibdeno son más resistentes a la corrosión que los recubrimientos de zinc, resistentes a los iones de cloruro y son adecuados para la protección de estructuras de acero en plataformas marinas.

Sin embargo, el molibdeno es menos resistente a la corrosión en ácidos oxidantes como el ácido nítrico y es propenso a una rápida disolución. Para resolver este problema, los investigadores han desarrollado recubrimientos compuestos a base de molibdeno que mejoran la resistencia a la corrosión mediante la adición de níquel o cromo. Por ejemplo, los recubrimientos compuestos de molibdeno-Ni reducen la tasa de corrosión en un 50% en entornos de ácido nítrico.

2.2.2 Resistencia a la oxidación del alambre de pulverización de molibdeno

El molibdeno tiene buena resistencia a la oxidación a baja temperatura (<500 °C), pero los óxidos volátiles (MoO_3) son fáciles de formar en una atmósfera oxidante a alta temperatura (>500 °C), lo que resulta en el deterioro de la calidad del recubrimiento. Por ejemplo, en aire a 800 °C, los recubrimientos de molibdeno puro pueden oxidarse a una velocidad de hasta 0,1 mm/h, lo que limita su aplicación en entornos oxidantes a alta temperatura.

Para mejorar la actividad antioxidante, los investigadores emplearon:

Tecnología de dopaje: El dopaje de elementos de tierras raras (por ejemplo, lantano, cerio) o metales alcalinos (por ejemplo, potasio) puede formar una capa protectora de óxido estable. Por ejemplo, un recubrimiento de molibdeno dopado con lantano al 1% reduce la tasa de oxidación en un 40% a 1000 °C.

Recubrimiento compuesto: Crea una barrera antioxidante mediante la adición de materiales

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

cerámicos (por ejemplo, Al_2O_3 , ZrO_2). Por ejemplo, los recubrimientos compuestos de molibdeno- Al_2O_3 tienen un aumento del 50% en la resistencia a la oxidación a 1200 °C.

Atmósfera protectora: Los recubrimientos de molibdeno son significativamente más resistentes a la oxidación cuando están protegidos por nitrógeno o argón, lo que los hace adecuados para su uso en hornos de vacío y componentes de naves espaciales.

2.2.3 Inercia química y reactividad del alambre de pulverización de molibdeno

El molibdeno es químicamente inerte a temperatura ambiente y no reacciona con la mayoría de los elementos no metálicos (por ejemplo, oxígeno, nitrógeno) ni reacciona significativamente con el agua o el vapor. Esta propiedad otorga a los recubrimientos de molibdeno una ventaja en escenarios donde la estabilidad química es crítica, como los electrodos en hornos de vidrio y el revestimiento en reactores químicos.

Sin embargo, a altas temperaturas, el molibdeno tiene cierta reactividad con el oxígeno, el cloro y el flúor. Por ejemplo, por encima de 600 °C, el molibdeno reacciona con el oxígeno para formar MoO_3 , lo que provoca la pérdida del recubrimiento. Con el fin de reducir la reactividad, los investigadores han desarrollado técnicas de modificación de la superficie, como la siliconación para formar una capa protectora de MoSi_2 , que mejora significativamente la estabilidad química.

2.3 Propiedades mecánicas del alambre de pulverización de molibdeno

Las propiedades mecánicas del alambre de pulverización de molibdeno determinan su rendimiento en entornos de alta carga, alta fricción y tensión compleja. La alta resistencia, ductilidad y resistencia al desgaste del molibdeno permiten que sus recubrimientos satisfagan las necesidades de las aplicaciones de ingeniería aeroespacial, automotriz y mecánica. Se analiza desde tres aspectos: resistencia a la tracción y límite elástico, ductilidad y tenacidad a la fractura, resistencia al desgaste y comportamiento a la fatiga.

2.3.1 Resistencia a la tracción y límite elástico del alambre de pulverización de molibdeno

Resistencia a la tracción La resistencia a la tracción del alambre de molibdeno es de aproximadamente 800-1000 MPa a 20 °C, que es mucho más alta que el aluminio (aproximadamente 200 MPa) pero menor que el tungsteno (aproximadamente 1500 MPa). La resistencia a la tracción del recubrimiento de molibdeno formado por pulverización suele estar entre 500 y 700 MPa debido a cambios en la microestructura, como el refinamiento del grano y la porosidad. El proceso de pulverización de llama de alta velocidad (HVOF) aumenta la resistencia a la tracción del recubrimiento a aproximadamente 800 MPa, ya que forma un recubrimiento más denso.

Límite elástico El límite elástico del molibdeno es de aproximadamente 600-800 MPa, y el límite elástico de los recubrimientos en aerosol suele estar entre 400-600 MPa. El límite elástico afecta directamente la resistencia a la deformación del recubrimiento. Por ejemplo, en los anillos de pistón de automóviles, el alto límite elástico de los recubrimientos de molibdeno puede resistir vibraciones de alta frecuencia y tensiones térmicas, evitando el agrietamiento del recubrimiento.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 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- 2024V
sales@chinatungsten.com

2.3.2 Ductilidad y tenacidad a la fractura del alambre de pulverización de molibdeno

El alambre de molibdeno maleable tiene buena ductilidad y el alargamiento a la rotura es de aproximadamente 10% -15%. El dopaje con elementos de tierras raras como el lantano puede mejorar aún más la ductilidad, por ejemplo, el alambre de molibdeno dopado con lantano al 1% puede alcanzar una elongación a la rotura de hasta el 20%. La ductilidad del recubrimiento por pulverización es ligeramente inferior a la del cuerpo del alambre de molibdeno, que es de aproximadamente 5% -10%, pero es suficiente para la mayoría de las aplicaciones industriales. Por ejemplo, en los álabes de las turbinas de los motores aeronáuticos, la ductilidad de los recubrimientos de molibdeno es capaz de acomodar la expansión térmica y las vibraciones mecánicas, reduciendo la descamación del recubrimiento.

Tenacidad a la fractura La tenacidad a la fractura (K_{IC}) de los recubrimientos de molibdeno suele estar entre 10 y 15 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, que es menor que la de los recubrimientos cerámicos (por ejemplo, circonio, aproximadamente 5 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) pero mayor que la de los recubrimientos a base de níquel (aproximadamente 8 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). La alta resistencia a la fractura permite que el recubrimiento de molibdeno resista la propagación de grietas y es adecuado para su uso en componentes con altas cargas de choque, como brocas de minería y matrices de forja.

2.3.3 Resistencia al desgaste y propiedades de fatiga del alambre de pulverización de molibdeno

Resistencia a la abrasión La resistencia al desgaste de los recubrimientos de molibdeno se debe a su alta dureza y bajo coeficiente de fricción (alrededor de 0,1-0,2). En condiciones de fricción por deslizamiento, la tasa de desgaste del recubrimiento de molibdeno es de solo 0,01-0,05 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, que es significativamente menor que la del acero (aproximadamente 0,1 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$). Por ejemplo, en los anillos sincronizadores de automóviles, la resistencia al desgaste del recubrimiento de molibdeno prolonga la vida útil de los componentes en un factor de 3.

Propiedades de fatiga La vida a la fatiga de los recubrimientos de molibdeno se desempeña bien en la prueba de fatiga de ciclo alto (HCF). Por ejemplo, la resistencia a la fatiga de los recubrimientos de molibdeno es de aproximadamente 400 MPa bajo una tensión de 10^7 ciclos, lo que lo hace adecuado para partes giratorias de motores aeronáuticos. Los estudios han demostrado que la optimización del proceso de pulverización, como la reducción de la porosidad, puede aumentar la vida útil a la fatiga hasta en un 20%.

2.4 Rendimiento del recubrimiento por pulverización

Las propiedades del recubrimiento formado por el alambre de pulverización de molibdeno afectan directamente su eficacia en aplicaciones industriales. La adherencia, la porosidad, la resistencia a altas temperaturas y las propiedades superficiales de los recubrimientos son indicadores clave para evaluar su calidad. A continuación se analiza desde cuatro aspectos.

2.4.1 Adherencia del recubrimiento y fuerza de unión

La adherencia de los recubrimientos de molibdeno generalmente se mide mediante una prueba de tracción (ASTM C633) con una fuerza de unión entre 50 y 100 MPa. El proceso de pulverización

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

de llama de alta velocidad (HVOF) puede formar recubrimientos con una fuerza de unión de hasta 100 MPa, mientras que la pulverización por arco suele tener una fuerza de unión de 50-70 MPa. La resistencia de la unión depende de los parámetros del recubrimiento (p. ej., distancia de pulverización de 100-150 mm, flujo de gas 50-80 L/min) y del tratamiento de la superficie del sustrato (p. ej., granallado, rugosidad).

2.4.2 Porosidad y uniformidad del recubrimiento

La porosidad de los recubrimientos de molibdeno suele oscilar entre el 0,5% y el 5%, dependiendo del proceso de pulverización. La porosidad del proceso HVOF puede ser tan baja como 0,5%, mientras que la porosidad de la pulverización por arco es de aproximadamente 3% -5%. La baja porosidad ayuda a mejorar la resistencia a la corrosión y la abrasión del recubrimiento. La uniformidad del espesor del recubrimiento se controla dentro de $\pm 5 \mu\text{m}$, lo que es adecuado para aplicaciones de alta precisión.

2.4.3 Resistencia del recubrimiento a altas temperaturas y choque térmico

Los recubrimientos de molibdeno pueden soportar más de 1600 °C en atmósferas no oxidantes, pero tienen una resistencia limitada a altas temperaturas (alrededor de 500 °C) en atmósferas oxidantes. Los recubrimientos dopados o compuestos pueden mejorar la resistencia a altas temperaturas, como los recubrimientos de molibdeno dopados con cerio que funcionan de manera estable a 1000 °C. La resistencia al choque térmico se evaluó mediante pruebas de ciclos en frío y caliente, y el recubrimiento de molibdeno fue estable desde 1000 °C hasta temperatura ambiente durante un máximo de 500 ciclos.

2.4.4 Rugosidad superficial y microestructura de los recubrimientos

La rugosidad de la superficie (R_a) de los recubrimientos de molibdeno suele estar entre 0,2 y 2,0 μm , y el proceso HVOF puede lograr un efecto espejo de $R_a \leq 0,2 \mu\text{m}$. La microestructura muestra que el recubrimiento de molibdeno consiste en partículas planas apiladas en capas con un tamaño de grano de 10-50 μm . El tamaño de grano fino contribuye a aumentar la dureza y la resistencia al desgaste.

2.5 CTIA GROUP LTD alambre de pulverización de molibdeno MSDS

Una Hoja de Datos de Seguridad de Materiales (MSDS), ahora comúnmente conocida como Hoja de Datos de Seguridad (SDS), es un documento técnico integral que cumple con los requisitos de la Organización Internacional de Normalización (ISO 11014) y el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (GHS) para proporcionar información sobre las propiedades físicas y químicas, peligros potenciales, uso seguro, almacenamiento, transporte, tratamiento de emergencia y regulaciones relacionadas de un producto químico o material. Como material metálico de alta pureza, el alambre de pulverización de molibdeno se usa ampliamente en los procesos de pulverización térmica, y su MSDS está diseñada para proporcionar una guía de seguridad integral para fabricantes, usuarios, personal de transporte y personal de respuesta a emergencias para garantizar el cumplimiento de las normas de salud y seguridad ocupacional en el lugar de trabajo y durante el transporte.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Parte 1: Identificación química y empresarial

Nombre químico: alambre de molibdeno

Número CAS: 7439-98-7

Uso recomendado: Se utiliza en procesos de pulverización térmica (como pulverización por arco, pulverización con llama) para formar recubrimientos resistentes al desgaste y a altas temperaturas, adecuados para la industria aeroespacial, automotriz, equipos energéticos, etc.

Restricciones de uso: No se recomienda su uso en atmósferas oxidantes de alta temperatura (>500 °C) a menos que se tomen medidas antioxidantes.

Parte 2: Descripción general de los peligros

Clasificación del SGA: El alambre de pulverización de molibdeno es un producto químico no peligroso y no entra en el ámbito de la clasificación de peligro del SGA.

Categoría de peligro: No existe una clasificación de peligro específica, pero se pueden generar polvos o vapores de molibdeno durante el procesamiento o la fumigación, lo que representa un peligro potencial de inhalación.

Peligros para la salud: La inhalación prolongada de polvo de molibdeno puede causar irritación respiratoria, y la exposición a corto plazo no tiene riesgos significativos para la salud.

Peligros físicos: El alambre sólido de molibdeno no es inflamable ni explosivo, pero puede causar un riesgo de incendio cuando se derrite a altas temperaturas durante el proceso de pulverización.

Peligros ambientales: No hay daños ambientales significativos, el molibdeno es un metal no tóxico y los desechos se pueden reciclar.

Advertencia: Precaución

Indicación de peligro:

H335: Puede causar irritación respiratoria (polvo por el procesamiento o la pulverización).

H315: Puede producirse una irritación leve con el contacto prolongado con la piel.

Aviso de Precaución:

P261: Evite inhalar polvo o vapores.

P280: Use guantes protectores/gafas protectoras/equipo de protección respiratoria cuando opere.

P305 + P351 + P338: En caso de contacto con los ojos, enjuague con agua durante varios minutos, si las lentes de contacto son fáciles de quitar, quítese y continúe enjuagando.

Parte 3: Composición/información de composición

Composición química: Molibdeno (Mo), Pureza $\geq 99.95\%$

Impurezas: Puede contener trazas de hierro ($Fe < 0,01\%$), níquel ($Ni < 0,005\%$), carbono ($C < 0,01\%$), etc.

Elementos dopantes (opcional): Algunos alambres de pulverización de molibdeno pueden doparse con lantano ($La < 1\%$), cerio ($Ce < 1\%$) o potasio ($K < 0,1\%$) para mejorar la resistencia a la oxidación o la ductilidad.

Forma: Alambre de metal sólido, diámetro 1.0-3.2 mm, superficie lisa o con capa de óxido traza (alambre de molibdeno negro).

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Parte 4: Medidas de primeros auxilios

Contacto con la piel: Si el filamento o el polvo de molibdeno entran en contacto con la piel, enjuague con agua jabonosa y agua sin tratamiento especial. Si se produce irritación, busque atención médica de inmediato.

Contacto con los ojos: Si el polvo de molibdeno entra en contacto con el ojo, levante el párpado y enjuague con agua corriente o solución salina durante al menos 15 minutos. Si el malestar persiste, busque atención médica de inmediato.

Inhalación: Si se inhala polvo de molibdeno o vapores de aerosol, transfíralo inmediatamente al aire fresco para mantener abiertas las vías respiratorias. Si tiene problemas para respirar, administre oxígeno y busque atención médica.

Ingestión accidental: El alambre de molibdeno es un metal sólido y la posibilidad de ingestión accidental es extremadamente baja. Si sucede, busque atención médica de inmediato y no induzca el vómito.

Protección del personal de primeros auxilios: El personal de primeros auxilios debe usar guantes y mascarillas protectoras para evitar inhalar polvo.

Parte 5: Medidas de protección contra incendios

Método de extinción de incendios: El alambre de molibdeno en sí no es inflamable, pero el derretimiento a alta temperatura durante el proceso de pulverización puede provocar un incendio. Use extintores de incendios de polvo seco, espuma o dióxido de carbono para extinguir incendios, y está prohibido usar agua (que puede causar explosiones de polvo metálico).

Riesgos especiales: Los vapores de óxido de molibdeno (MoO_3) pueden producirse a altas temperaturas, que son irritantes, y se requiere equipo de protección respiratoria.

Precauciones contra incendios: Los bomberos deben usar ropa protectora de cuerpo completo y respiradores de presión positiva en las vías respiratorias para evitar inhalar gases tóxicos.

Parte 6: Tratamiento de Emergencia de Derrames

Medidas de emergencia: El alambre de molibdeno es un material sólido, sin riesgo de fugas de líquido. Si el polvo de molibdeno se genera mediante procesamiento o rociado, aisle inmediatamente el área contaminada para evitar que el polvo se propague.

Método de recolección: Use una aspiradora a prueba de explosiones o un barrido húmedo para recolectar polvo y evitar el polvo. El polvo recolectado debe sellarse en un contenedor y entregarse a una organización profesional para su reciclaje.

Protección del medio ambiente: El polvo de molibdeno tiene menos impacto en el medio ambiente, pero debe evitarse que ingrese a los cuerpos de agua o al suelo.

Protección personal: Los manipuladores deben usar gafas protectoras, mascarillas y guantes para evitar la inhalación o exposición al polvo.

Parte 7: Manipulación, manipulación y almacenamiento

Precauciones:

Opere en un ambiente bien ventilado para evitar la acumulación de polvo.

Utilice equipos de pulverización especializados, como pistolas de pulverización por arco, para asegurarse de que el equipo esté conectado a tierra para evitar chispas estáticas.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Evite el uso directo en atmósferas oxidantes de alta temperatura (>500 °C) a menos que se tomen medidas antioxidantes.

Equipado con un sistema de captura de polvo para evitar la difusión del polvo durante el proceso de pulverización.

Precauciones de almacenamiento:

Almacene en un almacén seco y ventilado, lejos de la humedad (para evitar la oxidación de las superficies).

La temperatura de almacenamiento se controla a 5-30 °C y la humedad es inferior al 60%.

Mantener alejado de agentes oxidantes fuertes (por ejemplo, ácido nítrico, cloro) y sustancias ácidas.

El embalaje está sellado en una bolsa de plástico o en un recipiente metálico para evitar daños mecánicos.

Parte 8: Control de la Exposición/Protección Personal

Controles de ingeniería: Utilice sistemas de escape locales o equipos de recolección de polvo para mantener la concentración de polvo de molibdeno en el aire del lugar de trabajo por debajo del PEL de OSHA (15 mg/m³, polvo total).

Protección Personal:

Protección respiratoria: Use una mascarilla antipolvo N95 o P100 certificada por NIOSH en altas concentraciones de polvo.

Protección ocular: Use gafas de seguridad química para evitar que el polvo entre en sus ojos.

Protección de la piel: Use guantes y overoles protectores para evitar el contacto a largo plazo.

Otra protección: Los operadores de fumigación deben usar ropa protectora a altas temperaturas para evitar quemaduras por gotas a alta temperatura.

Límites de Exposición Ocupacional:

China GBZ 2.1-2019: Polvo de molibdeno TLV-TWA es de 10 mg / m³ (polvo total).

OSHA PEL: 15 mg/m³ (total dust), 5 mg/m³ (respirable dust).

ACGIH TLV: 10 mg/m³ (respirable dust), 3 mg/m³ (respirable dust).

Parte 9: Propiedades fisicoquímicas

Apariencia y propiedades: alambre metálico blanco plateado, superficie lisa o con capa de óxido traza (alambre de molibdeno negro).

Punto de fusión: 2623 °C

Punto de ebullición: 4639 °C

Densidad: 10,28 g/cm³ (20°C)

Conductividad térmica: 138 W/m·K (20°C)

Coefficiente de expansión térmica: 4,8×10⁻⁶/K (20-1000°C).

Resistividad: 5.5×10⁻⁸ Ω·m (20°C)

Dureza: dureza Mohs 5.5-6.0, dureza Vickers HV200-250

Solubilidad: insoluble en agua, ácido o álcali, soluble en ácido nítrico concentrado en caliente o agua regia.

Volatilidad: Se puede generar MoO₃ no volátil, pero volátil, en una atmósfera oxidante a alta

[Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

temperatura.

Parte 10: Estabilidad y reactividad

Estabilidad: Estable a temperatura ambiente, el MoO₃ puede formarse en una atmósfera oxidante a alta temperatura (>500 °C).

Reactividad: Reacciona con agentes oxidantes fuertes (por ejemplo, ácido nítrico, cloro) para producir óxidos o haluros. Evite el contacto con ácidos y álcalis fuertes.

Sustancias prohibidas: oxidantes fuertes, gases halógenos, sustancias ácidas.

Productos de descomposición: Puede descomponerse en humo de MoO₃ a altas temperaturas, lo cual es irritante.

Parte 11: Información toxicológica

Toxicidad aguda: Sin toxicidad aguda significativa, DL50 (oral, rata) > 2000 mg/kg.

Toxicidad crónica: La inhalación a largo plazo de altas concentraciones de polvo de molibdeno puede causar irritación respiratoria o inflamación pulmonar sin evidencia de carcinogenicidad (no clasificado como carcinógeno en la IARC).

Irritación de la piel: La exposición prolongada puede causar una irritación leve y no es sensibilizante.

Irritación ocular: El polvo de molibdeno puede causar irritación mecánica y no es corrosivo.

Toxicidad reproductiva: No hay datos sobre toxicidad reproductiva o teratogenicidad.

Otros: El molibdeno es un oligoelemento esencial para el cuerpo humano, y la inhalación excesiva puede provocar un aumento de la concentración de molibdeno en la sangre, pero no existe un peligro significativo para la salud.

Parte 12: Información Ecológica

Impacto ambiental: El alambre de molibdeno es un metal sólido y no tiene un daño significativo para el medio ambiente. Los residuos se pueden reciclar y desechar para evitar que ingresen a los cuerpos de agua o al suelo.

Bioacumulativo: No bioacumulativo.

Ecotoxicidad: No hay toxicidad significativa para los organismos acuáticos, CL50 (peces, 96 horas) > 100 mg/L.

Persistencia y degradabilidad: No aplicable, el molibdeno es un metal no degradable.

Parte 13: Eliminación

Método de eliminación: El alambre de molibdeno de desecho debe sellarse y recogerse, entregarse a una institución de reciclaje profesional para su eliminación, y está prohibido desecharlo a voluntad.

Reciclaje: El molibdeno es un metal reciclable que se recomienda reutilizar mediante fundición o purificación química.

Requisitos reglamentarios: De acuerdo con la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental por Residuos Sólidos de China y la directiva RoHS de la UE, está prohibido descargar residuos en el medio ambiente.

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN DE ENVÍO

Número ONU: Ninguno (no peligrosos).

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Nombre del envío: Alambre de molibdeno.

Categoría de peligro para el transporte: Mercancías no peligrosas, de acuerdo con los requisitos del Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG) y de la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA).

Requisitos de embalaje: Utilice bolsas de plástico selladas o recipientes metálicos para evitar daños mecánicos.

Precauciones para el transporte: Manténgalo seco durante el transporte y evite mezclarlo con oxidantes fuertes.

Parte 15: Información Regulatoria

Regulaciones en China:

Cumplir con el "Etiquetado y Reglas Generales para Productos Químicos Peligrosos" (GB/T 15258-2009).

Cumplir con los Límites de Exposición Ocupacional a Factores Peligrosos en los Lugares de Trabajo Ocupacionales (GBZ 2.1-2019).

Normativa Internacional:

De acuerdo con el reglamento REACH de la UE (CE n.º 1907/2006), el molibdeno no pertenece a las SVHC (sustancias extremadamente preocupantes).

Cumple con los estándares de comunicación de peligros de OSHA (29 CFR 1910.1200).

Cumple con los requisitos canadienses WHMIS (Sistema de Información de Materiales Peligrosos para el Lugar de Trabajo).

Otros: La producción y el uso de alambre de molibdeno están sujetos al sistema de gestión ambiental ISO 14001 y al sistema de gestión de calidad ISO 9001.

SECCIÓN 16: INFORMACIÓN ADICIONAL

Proveedor: CTIA GROUP LTD

Tel: 0592-5129696/5129595

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



CTIA GROUP LTD alambre de pulverización de molibdeno

Capítulo 3 Proceso de preparación y producción de alambre de pulverización de molibdeno

3.1 Preparación de materias primas para alambre de pulverización de molibdeno

La preparación del alambre de pulverización de molibdeno comienza con la selección y el procesamiento de las materias primas, y el proceso de preparación de alta calidad del molibdeno, como metal de transición de alto punto de fusión y resistente a la corrosión, determina directamente el rendimiento del producto final. La preparación de la materia prima implica la extracción de compuestos de molibdeno de alta pureza del mineral de [molibdeno](#), que a su vez se procesan en [polvos de molibdeno de alta pureza](#) adecuados para el moldeo. Este proceso no solo requiere un uso intensivo de la tecnología, sino que también requiere un control de proceso sofisticado para garantizar la consistencia y confiabilidad del material. Esta sección discutirá en detalle la tecnología de beneficio y purificación del mineral de molibdeno, el proceso de producción de polvo de molibdeno de alta pureza y el control de calidad y las pruebas del polvo de molibdeno.

3.1.1 Tecnología de beneficio y purificación de mineral de molibdeno

El molibdeno se encuentra en la naturaleza principalmente en forma de [molibdenita \(MoS₂\)](#), un mineral de sulfuro metálico de color gris oscuro que a menudo se asocia con minerales metálicos como el cobre, el tungsteno y el hierro. La distribución de los recursos de mineral de molibdeno en el mundo está relativamente concentrada, siendo China, Estados Unidos, Chile y Perú las principales zonas productoras, entre las que China domina con sus ricas reservas y producción. El mineral de molibdeno de China se distribuye principalmente en Luanchuan en Henan, Jinduicheng en Shaanxi y Daheishan en Jilin, y el mineral de molibdeno producido en estas áreas mineras es de buena calidad, pero a menudo contiene una variedad de impurezas, que deben separarse a través de complejos procesos de beneficio y purificación.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

El primer paso en el proceso de beneficio es la trituración física del mineral en bruto. El mineral de molibdeno extraído es grande y, por lo general, debe triturarse en partículas más pequeñas mediante trituradoras de mandíbula y trituradoras de cono. Este proceso puede parecer simple, pero requiere un control preciso de los parámetros de la planta de trituración para evitar la pérdida de minerales o la contaminación por polvo debido a la trituración excesiva. Las partículas de mineral triturado se introducen en equipos de molienda, como molinos de bolas o molinos de barras, donde se muelen aún más hasta convertirlas en polvos finos. El propósito de la molienda es liberar las partículas de molibdenita de los minerales asociados y crear las condiciones para la posterior separación. En esta etapa, se debe prestar especial atención a la uniformidad del tamaño del grano de molienda, ya que las partículas demasiado gruesas reducirán la eficiencia del procesamiento, mientras que las partículas demasiado finas pueden aumentar el costo del tratamiento.

El proceso central del procesamiento de minerales es la tecnología de flotación, que es un método de separación de minerales utilizando diferencias en las propiedades de la superficie. Durante la flotación, el mineral finamente molido se mezcla con agua para formar una suspensión y se agregan productos químicos específicos, incluidos colectores, agentes espumantes y acondicionadores. Los colectores (como el xantato o el terpineol) adsorben selectivamente en la superficie de las partículas de molibdenita, convirtiéndolas en hidrofóbicas; El agente espumante produce una espuma estable en la lechada, las partículas hidrofóbicas de molibdenita se adhieren a las burbujas y flotan en la superficie con la espuma, mientras que los minerales de impurezas hidrofílicas se hunden hasta el fondo de la suspensión. El proceso de flotación generalmente requiere múltiples ciclos, y el grado de molibdenita se incrementa gradualmente a través del desbaste, la selección y el barrido, y finalmente se obtiene un concentrado de molibdeno de alta pureza. Este concentrado tiene un color gris oscuro con un brillo graso, lo que lo convierte en una materia prima ideal para su posterior purificación.

El proceso de purificación del concentrado de molibdeno está diseñado para convertir la molibdenita en un compuesto que se puede utilizar en la producción de molibdeno metálico, normalmente óxido de molibdeno (MoO_3). El primer paso en la purificación es el tostado, donde el concentrado de molibdeno se alimenta a un gran horno rotatorio o a un horno multicámara donde reacciona con el oxígeno a altas temperaturas. Durante el proceso de tostado, el azufre de la molibdenita se oxida a gas dióxido de azufre y se libera, mientras que el molibdeno se convierte en óxido de molibdeno. Este proceso requiere un control preciso de la temperatura y el suministro de oxígeno para garantizar la eliminación completa del azufre y evitar la pérdida de volatilización del óxido de molibdeno. El óxido de molibdeno después de tostar es un polvo amarillo o blanco, pero aún puede contener trazas de cobre, hierro u otras impurezas que requieren una mayor purificación química.

La purificación química generalmente se realiza mediante un proceso de lixiviación de amoníaco. El óxido de molibdeno se disuelve en amoníaco para formar una solución de molibdato de amonio, mientras que las impurezas insolubles se filtran y separan. Posteriormente, el molibdato de amonio de alta pureza se precipita de la solución por evaporación, cristalización o precipitación ácida. Este compuesto es un precursor ideal para la producción de polvo de molibdeno de alta pureza, y su pureza tiene un impacto directo en el éxito del proceso posterior. Todo el proceso de beneficio y

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

purificación refleja la complejidad de la tecnología metalúrgica moderna, desde la trituración extensiva del mineral hasta la separación de productos químicos finos, cada paso del cual debe diseñarse cuidadosamente para garantizar la calidad del producto final.

3.1.2 Proceso de producción de polvo de molibdeno de alta pureza

El polvo de molibdeno de alta pureza es el material base para el alambre de pulverización de molibdeno, y su proceso de producción se centra en la reducción de hidrógeno, cuyo objetivo es convertir el óxido de molibdeno en molibdeno metálico mientras mantiene una pureza extremadamente alta y las propiedades de partículas adecuadas. Este proceso requiere no solo soporte de equipos avanzados, sino también un profundo conocimiento de las reacciones químicas y las propiedades del material para garantizar que el polvo de molibdeno cumpla con los estrictos requisitos para el alambre de pulverización de molibdeno.

La producción de polvo de molibdeno de alta pureza comienza con el refinado del óxido de molibdeno. El óxido de molibdeno obtenido del tostado puede contener trazas de impurezas que deben purificarse aún más mediante métodos químicos. La lixiviación de amoníaco es un método de refinación comúnmente utilizado, que puede eliminar eficazmente impurezas como el hierro, el cobre y el silicio mediante el control del pH y la temperatura de la solución. El óxido de molibdeno refinado se seca y se muele en partículas finas en preparación para el posterior proceso de reducción. Cada proceso en esta etapa debe llevarse a cabo en un entorno limpio para evitar la introducción de contaminantes externos.

La reducción de hidrógeno es el proceso central de la producción de polvo de molibdeno y generalmente se lleva a cabo en dos etapas. La primera etapa es la reducción del óxido de molibdeno a dióxido de molibdeno (MoO_2). Esta reacción tiene lugar en un horno tubular o un horno de empuje, donde el polvo de óxido de molibdeno se coloca en un plato de barco a alta temperatura y se pasa lentamente a través de la zona de calentamiento. Bajo la protección de una atmósfera de hidrógeno, el óxido de molibdeno reacciona con el hidrógeno para liberar vapor de agua y formar dióxido de molibdeno. Este proceso requiere un control preciso de la temperatura del horno y del flujo de hidrógeno para garantizar que la reacción se complete y que las partículas no se aglomeren. El dióxido de molibdeno es de color marrón oscuro y suelto en partículas, que es un producto intermedio de la segunda etapa de reducción.

La segunda etapa es la reducción adicional del dióxido de molibdeno a polvo de molibdeno metálico. Este proceso debe tener lugar a temperaturas más altas, y el hidrógeno continúa actuando como un agente reductor, reaccionando con el dióxido de molibdeno para formar molibdeno metálico y vapor de agua. El diseño del horno de reducción es crucial, a menudo empleando múltiples zonas de calentamiento para lograr un aumento gradual de la temperatura. La reducción a alta temperatura no solo requiere una atmósfera pura en el horno, sino que también requiere que se controle la tasa de crecimiento de las partículas para evitar la formación de granos de gran tamaño. El polvo de molibdeno final es de color gris plateado, las partículas son finas y uniformes, y tiene buena fluidez y compresibilidad.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

El polvo de molibdeno reducido debe tamizarse y clasificarse para garantizar que el tamaño y la distribución de las partículas cumplan con las demandas del proceso de estirado. Los clasificadores de flujo de aire o cribas vibratorias se utilizan para separar polvos de diferentes tamaños de partículas, y las partículas finas se utilizan para aplicaciones de alta precisión y las partículas más grandes se reprocessan. Todo el proceso de producción se lleva a cabo en una sala limpia o en un entorno controlado para evitar la contaminación por polvo o la oxidación. La preparación del polvo de molibdeno no es solo una combinación de química e ingeniería, sino también la máxima búsqueda de detalle y calidad.

3.1.3 Control de calidad y ensayos de polvo de molibdeno

La calidad del polvo de molibdeno determina directamente el rendimiento del alambre de pulverización de molibdeno, por lo que el control de calidad y las pruebas son los eslabones clave en la preparación de las materias primas. Este proceso implica una evaluación exhaustiva de la composición química, las propiedades físicas y la microestructura del polvo de molibdeno para garantizar que cumpla con los estrictos estándares de la industria. El control de calidad no es solo el uso de medios técnicos, sino también la gestión sistemática del proceso de producción, que atraviesa todos los eslabones, desde las materias primas hasta los productos terminados.

La detección de componentes químicos es la tarea principal del control de calidad. La pureza del polvo de molibdeno es extremadamente alta y cualquier rastro de impurezas puede afectar el rendimiento de los procesos posteriores o los recubrimientos finales. Los métodos de detección comúnmente utilizados incluyen la espectroscopia de emisión de plasma acoplada inductivamente (ICP-OES), que permite un análisis rápido y preciso del contenido elemental de polvos de molibdeno como hierro, níquel, carbono y oxígeno. El control del contenido de oxígeno es particularmente importante, ya que demasiado oxígeno puede hacer que el polvo de molibdeno se oxide a altas temperaturas, afectando el efecto de extracción o pulverización. El método de fusión de gas inerte es el método estándar para medir el contenido de oxígeno, que se determina con precisión calentando una muestra y analizando el gas liberado.

Se prueban las propiedades físicas, incluida la distribución del tamaño de partícula, la topografía y la fluidez. La distribución del tamaño de partícula afecta el comportamiento del polvo de molibdeno durante el prensado y la sinterización, y los analizadores láser de tamaño de partícula se utilizan ampliamente para medir el tamaño y la distribución de las partículas. El polvo de molibdeno ideal debe tener un tamaño de partícula uniforme, con partículas que son demasiado grandes pueden causar defectos de moldeo y las partículas que son demasiado finas pueden reducir la fluidez. La microscopía electrónica de barrido (SEM) se utiliza para observar la morfología del polvo de molibdeno y comprobar si las partículas son regularmente esféricas o si hay alguna aglomeración. La prueba de flujo se realiza mediante un medidor de flujo Hall para evaluar la velocidad del flujo del polvo en el embudo, que es fundamental para la estabilidad del proceso de pulvimetalurgia.

El control de calidad también incluye una estricta gestión de procesos. Cada lote de polvo de molibdeno requiere una documentación detallada, incluido el origen de la materia prima, los parámetros de producción y los resultados de las pruebas, para una trazabilidad completa. Este

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

mecanismo de trazabilidad no solo ayuda a identificar problemas potenciales, sino que también proporciona soporte de datos para la optimización de procesos. Las normas internacionales del sistema de gestión de la calidad, como la ISO 9001, proporcionan un marco normativo para la producción de polvo de molibdeno, garantizando que cada paso de la operación cumpla con los requisitos establecidos. A través de estas medidas, los fabricantes pueden producir polvos de molibdeno con una calidad constante y un rendimiento excelente, sentando una base sólida para la preparación de alambres de molibdeno recubiertos.

3.2 Proceso de formación de alambre de molibdeno

La conversión de polvo de molibdeno de alta pureza en alambre de molibdeno para pulverización es un proceso complejo que implica un procesamiento de varias etapas, desde el polvo hasta el filamento. Las propiedades duras y quebradizas del molibdeno hacen que el proceso de formación sea un desafío, ya que requiere equipos sofisticados y control de procesos para garantizar la resistencia, la uniformidad y la calidad de la superficie del alambre. Esta sección discutirá en detalle la tecnología de moldeo de pulvimetalurgia, el proceso de trefilado de molibdeno, el recocido y el alivio de tensiones, y la limpieza y pulido de superficies.

3.2.1 Tecnología de moldeo pulvimetalúrgico

La pulvimetalurgia es el proceso básico de formación de alambre de molibdeno, que proporciona materias primas para el trefilado posterior mediante el prensado y la sinterización del polvo de molibdeno en una pieza en bruto densa. Este proceso, que combina la compresión física y el tratamiento a alta temperatura, permite utilizar eficazmente las propiedades del polvo de molibdeno para producir blancos de molibdeno de alta resistencia.

El primer paso en la pulvimetalurgia es el moldeo a presión. El polvo de molibdeno de alta pureza se empaqueta en un molde de acero especial y una prensa hidráulica aplica alta presión para compactar firmemente las partículas de polvo y formar la llamada "palanquilla verde". La forma verde tiene baja resistencia y se mantiene solo mediante un ajuste mecánico entre las partículas, por lo que se requiere un cuidado adicional al manipular y procesar. El proceso de prensado requiere controlar la magnitud y la distribución de la presión para evitar grietas o densidades desiguales dentro de la pieza en bruto. Algunos equipos de prensado avanzados adoptan la tecnología de prensado isostático en frío, que mejora aún más la densidad y la uniformidad de la palanquilla verde al aplicar una presión uniforme a través del medio líquido.

A esto le sigue el proceso de sinterización, en el que las palanquillas verdes se introducen en un horno de alta temperatura para su tratamiento térmico. La sinterización generalmente se lleva a cabo en un entorno de hidrógeno o vacío para evitar la oxidación del molibdeno a altas temperaturas. La temperatura del horno de sinterización se controla con precisión por debajo del punto de fusión del molibdeno, lo que hace que las partículas de polvo se unan por difusión para formar una fuerte estructura metálica. El proceso de sinterización no solo aumenta la densidad de la pieza en bruto, sino que también mejora sus propiedades mecánicas, permitiéndole soportar el mecanizado posterior. La pieza en bruto de molibdeno sinterizado tiene un color gris plateado, una superficie lisa y una estructura interna densa, que es un punto de partida ideal para el proceso de trefilado.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Las palanquillas de molibdeno sinterizado a menudo requieren un trabajo adicional en caliente, como forja en caliente o laminado en caliente, para ajustar su tamaño y forma. La forja en caliente deforma la pieza en bruto mediante martilleo o extrusión, refinando la estructura del grano y mejorando la resistencia. El laminado en caliente prepara el proceso de trefilado enrollando la pieza en bruto en varillas delgadas de molibdeno a través de una serie de rodillos. Estos pasos de trabajo en caliente deben realizarse a altas temperaturas para mejorar la ductilidad del molibdeno y evitar la fractura frágil causada por el trabajo en frío. El éxito de la tecnología de pulvimetalurgia radica en su transformación de polvo suelto en una pieza en bruto de metal resistente, que sienta las bases para la formación de alambre de molibdeno.

3.2.2 Proceso de trefilado de molibdeno

El trefilado de molibdeno es un paso crítico en el procesamiento de varillas de molibdeno en filamentos, que deben superar las características duras y quebradizas del molibdeno para garantizar que el alambre tenga un diámetro uniforme y una superficie lisa. El proceso de trefilado se divide en dos métodos: trefilado monomodo y trefilado continuo multimodo, cada uno con sus propios escenarios y características de aplicación.

3.2.2.1 Trefilado de un solo troquel

El trefilado de un solo troquel es un método de procesamiento de alta precisión adecuado para la producción de bajo volumen o escenarios con requisitos de tamaño de alambre extremadamente altos. En el trefilado de un solo troquel, la varilla de molibdeno se precalienta para mejorar su ductilidad y, posteriormente, se pasa a través de un troquel de carburo o diamante mediante una máquina de trefilado. La apertura del molde es ligeramente más pequeña que el diámetro de la varilla de molibdeno, y la varilla de molibdeno se deforma por la fuerza de tracción para reducir gradualmente su sección transversal. Después de cada estirado, el diámetro del alambre de molibdeno disminuye ligeramente y se necesitan varios tirones para alcanzar el tamaño objetivo.

La ventaja del trefilado de un solo troquel radica en su alta precisión y flexibilidad. Los parámetros del molde y del proceso se pueden ajustar individualmente para cada dibujo para garantizar el tamaño y la calidad de la superficie del alambre. Los lubricantes juegan un papel clave en el proceso de trefilado, y los lubricantes comúnmente utilizados incluyen emulsión de grafito o disulfuro de molibdeno, que pueden reducir la fricción entre el troquel y el alambre de molibdeno, prolongar la vida útil del troquel y mejorar el acabado superficial del alambre. La desventaja del trefilado de un solo troquel es que la eficiencia es baja y debe operarse manualmente para reemplazar el molde o ajustar el equipo después de cada trefilado, lo cual es adecuado para la industria aeroespacial y otros campos con requisitos de calidad extremadamente altos.

3.2.2.2 Trefilado continuo multimodo

El trefilado continuo multimodo es un método de producción industrial eficiente adecuado para la producción de alto volumen de alambre de pulverización de molibdeno. En este proceso, la varilla de molibdeno se tira continuamente a través de una serie de moldes, cada uno con una disminución gradual en el diámetro de poro. La máquina de trefilado está equipada con múltiples bases de troquel y dispositivos de tracción, y el alambre de molibdeno ingresa al siguiente troquel inmediatamente

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

después de pasar por un troquel para lograr un procesamiento continuo. El trefilado multimodo tiene un alto grado de automatización y garantiza la uniformidad y estabilidad del alambre a través de un control preciso de la tensión y el sistema de enfriamiento.

La clave del trefilado multimodo reside en el diseño de la secuencia de troqueles y en la coordinación de los parámetros del proceso. La disminución del tamaño de los poros del troquel requiere una planificación científica para evitar la rotura del alambre o defectos durante el proceso de estirado. El sistema de enfriamiento generalmente está refrigerado por agua o aire para evitar que el alambre de molibdeno se quebrille debido a una temperatura excesiva durante el proceso de trefilado. Un suministro continuo de lubricante también es crucial, a menudo rociando lubricante sobre las superficies de la matriz y el alambre a través de un sistema de recirculación. La eficiencia de producción del trefilado continuo multimodo es mucho mayor que la del trefilado monomodo, que es adecuada para escenarios que requieren un suministro a gran escala, como la industria automotriz o los equipos de energía.

3.2.3 Recocido con hilo de molibdeno y alivio de tensiones

El proceso de trefilado introduce tensiones residuales dentro del alambre de molibdeno que pueden causar grietas o fracturas en el procesamiento o uso posterior. El recocido y el alivio de tensiones son pasos esenciales para restaurar la estructura cristalina del alambre de molibdeno mediante tratamiento térmico, mejorando su ductilidad y tenacidad.

El recocido generalmente se lleva a cabo en un horno de vacío o protegido con hidrógeno para evitar la oxidación de la superficie del alambre de molibdeno. El alambre de molibdeno se calienta lentamente a una temperatura específica, se mantiene durante un período de tiempo y luego se enfría gradualmente. Este proceso reorganiza los granos, eliminando las dislocaciones y las concentraciones de tensión que se forman durante el proceso de estirado. La elección de la temperatura de recocido es crucial, una temperatura demasiado alta puede hacer que el grano sea demasiado grande y reducir la resistencia del alambre, mientras que una temperatura demasiado baja no será efectiva para aliviar la tensión. Algunos procesos de recocido avanzados utilizan el calentamiento por etapas para ajustar gradualmente la microestructura del alambre a través de múltiples etapas de temperatura para optimizar sus propiedades.

El recocido con hidrógeno es un método comúnmente utilizado que no solo proporciona una atmósfera protectora, sino que también reacciona con trazas de óxidos en la superficie para limpiar aún más la superficie del alambre de molibdeno. El recocido al vacío es más adecuado para aplicaciones de alta precisión, ya que está libre de impurezas gaseosas y garantiza la pureza del alambre. El alambre de molibdeno recocido tiene una flexibilidad significativamente mejorada y un mejor brillo superficial, lo que puede cumplir con los exigentes requisitos del proceso de pulverización para el rendimiento del alambre.

3.2.4 Limpieza y pulido de superficies

Después del estirado y recocido, pueden permanecer lubricantes, óxidos u otros contaminantes en la superficie del alambre de molibdeno, lo que puede afectar la estabilidad del proceso de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

pulverización y la calidad del recubrimiento. La limpieza y el pulido de la superficie es el paso final en la formación del alambre de molibdeno, cuyo objetivo es crear una superficie de alambre lisa e impecable.

El proceso de limpieza suele incluir la limpieza química y la limpieza ultrasónica. La limpieza química utiliza soluciones ácidas o alcalinas suaves, como ácido clorhídrico diluido o hidróxido de sodio, para eliminar las capas de óxido y los residuos orgánicos de la superficie. Después de la limpieza, el alambre de molibdeno debe enjuagarse a fondo con agua desionizada para evitar residuos químicos. La limpieza ultrasónica utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para crear pequeñas burbujas en un líquido que explotan con una fuerza de impacto que elimina eficazmente las partículas y el aceite del tamaño de una micra. La limpieza ultrasónica es especialmente adecuada para formas complejas de cables, asegurando que cada centímetro de la superficie esté limpio e impecable.

El pulido es un paso crítico para mejorar la calidad de la superficie del alambre de molibdeno y se puede lograr mediante pulido mecánico o electroquímico. El pulido mecánico utiliza abrasivos finos, como alúmina o polvo de diamante, para pulir la superficie del alambre con un cepillo giratorio o una correa abrasiva para lograr un efecto de espejo. El pulido electroquímico coloca el alambre de molibdeno en un electrolito, que actúa como ánodo, y las protuberancias microscópicas en la superficie se disuelven preferentemente, lo que da como resultado una superficie lisa. El alambre de molibdeno pulido no solo tiene una apariencia brillante, sino que también reduce las salpicaduras de gotas fundidas durante el proceso de pulverización y mejora la uniformidad del recubrimiento.

3.3 Procesamiento especial para alambre de pulverización de molibdeno

El alambre de pulverización de molibdeno requiere un procesamiento especializado para satisfacer las necesidades únicas del proceso de pulverización térmica. Estos tratamientos incluyen la activación de la superficie, la personalización de las especificaciones y la modificación de la superficie para optimizar el rendimiento del alambre durante el proceso de pulverización, lo que garantiza la calidad del recubrimiento y la eficiencia de la producción.

3.3.1 Tratamiento de activación de la superficie del alambre de molibdeno

El tratamiento de activación de la superficie está diseñado para mejorar la actividad química y las propiedades físicas de la superficie del alambre de molibdeno, lo que facilita la fusión y la formación de gotas uniformes durante el proceso de pulverización. La activación se puede lograr por métodos químicos, de plasma o mecánicos, cada uno con sus propias ventajas únicas.

La activación química generalmente usa ácidos diluidos o lejías para empapar el alambre de molibdeno para eliminar los óxidos de la superficie y aumentar la rugosidad de la superficie. Este tratamiento hace que la superficie del alambre de molibdeno sea más hidrófila, lo que ayuda a la formación y expulsión de gotas fundidas. La activación por plasma utiliza plasma a baja temperatura para bombardear la superficie del cable, introducir grupos funcionales activos y mejorar la reactividad química de la superficie. Este método es especialmente adecuado para la pulverización de alta precisión, ya que no altera las dimensiones ni las propiedades mecánicas del alambre. La

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

activación mecánica aumenta la rugosidad de la superficie y mejora la adhesión de las gotas fundidas mediante microgranallado o glaseado.

El proceso de activación debe elegir el método apropiado de acuerdo con el equipo de pulverización y el escenario de aplicación. Por ejemplo, la pulverización en el sector aeroespacial requiere una calidad de recubrimiento extremadamente alta, a menudo con activación por plasma para garantizar que la superficie del filamento esté limpia y altamente activa. El alambre de molibdeno activado puede mejorar significativamente la eficiencia de pulverización y la fuerza de unión del recubrimiento.

3.3.2 Personalización de especificaciones de alambre de molibdeno para pulverización

La diversidad de equipos de pulverización requiere alambre de molibdeno con especificaciones personalizadas, que incluyen diámetro, longitud y composición. La personalización de las especificaciones es un reflejo de la estrecha colaboración del fabricante con el cliente para garantizar que el filamento se adapte perfectamente al sistema de pulverización.

El diámetro del alambre de molibdeno afecta directamente la velocidad de alimentación del alambre y el comportamiento de fusión. Los filamentos más delgados son adecuados para la pulverización de alta precisión y pueden formar una capa delgada y uniforme; Los filamentos más gruesos son adecuados para la pulverización de alta eficiencia y pueden cubrir rápidamente grandes áreas de sustratos. Por lo general, el alambre se suministra en bobinas con longitudes adaptadas a las necesidades del equipo, lo que garantiza una pulverización ininterrumpida. El embalaje está hecho de bolsas de plástico selladas al vacío o recipientes metálicos para evitar que el alambre se humedezca u oxide.

La personalización de los ingredientes es otro aspecto importante. Algunas aplicaciones de pulverización requieren alambre de molibdeno dopado con elementos de tierras raras como el lantano o el cerio para mejorar la resistencia a la oxidación o la ductilidad. El proceso de dopaje se completa antes del trefilado y se logra ajustando la formulación del polvo de molibdeno. Las especificaciones personalizadas no solo mejoran los resultados de pulverización, sino que también prolongan la vida útil del equipo y reducen los costos de mantenimiento.

3.3.3 Tecnología de modificación de la superficie del alambre de molibdeno

La tecnología de modificación de superficies optimiza aún más el rendimiento del recubrimiento del alambre de molibdeno al cambiar sus propiedades químicas o físicas. Estas tecnologías incluyen la siliconización, la modificación del dopaje y los tratamientos de pre-recubrimiento para problemas como la oxidación a alta temperatura o la inestabilidad de las gotas en la pulverización.

El proceso de siliconación se lleva a cabo en una atmósfera de silicio a alta temperatura para formar una capa protectora de siliciuro de molibdeno (MoSi_2). Esta capa protectora es eficaz contra la oxidación a alta temperatura y prolonga la vida útil del alambre durante el proceso de pulverización. La modificación del dopaje refina la estructura del grano y mejora la estabilidad a altas temperaturas mediante la introducción de tierras raras o elementos metálicos alcalinos en la superficie del alambre.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

En el proceso de prerrecubrimiento, se aplica una película delgada, como alúmina o zirconio, a la superficie del alambre para reducir la formación de óxidos durante el proceso de pulverización.

Estas tecnologías de modificación deben integrarse estrechamente con el proceso de pulverización para garantizar que la capa modificada no afecte la alimentación del alambre o el comportamiento de fusión del alambre. A través de la modificación de la superficie, el alambre de molibdeno puede funcionar bien en entornos de pulverización hostiles, cumpliendo con los exigentes requisitos de la aviación, la energía y otros campos.

3.4 Proceso de pulverización

El proceso de pulverización es el proceso central de fusión y depósito de alambre de molibdeno sobre la superficie del sustrato, que implica tres etapas: pretratamiento del sustrato, tecnología de pulverización térmica y postratamiento. Cada etapa juega un papel decisivo en la calidad y el rendimiento del recubrimiento.

3.4.1 Pretratamiento superficial de sustratos

El estado de la superficie del sustrato tiene un impacto directo en la adherencia y durabilidad del recubrimiento. El pretratamiento utiliza métodos mecánicos, químicos y ultrasónicos para limpiar y optimizar la superficie del sustrato y crear las condiciones ideales para la pulverización.

3.4.1.1 Arenado mecánico

El chorreado mecánico utiliza la inyección a alta velocidad de abrasivos, como alúmina o carburo de silicio, para impactar la superficie del sustrato, aumentando la rugosidad y eliminando impurezas como óxidos, recubrimientos viejos y más. El proceso de granallado requiere un control preciso del tipo de abrasivo, la presión del chorro y el ángulo para evitar daños en el sustrato. La superficie rugosa mejora la adherencia mecánica del recubrimiento al sustrato y mejora la adherencia. El arenado es adecuado para sustratos duros como el acero y las aleaciones a base de níquel, y es un método común de pretratamiento por pulverización.

3.4.1.2 Limpieza química

La limpieza química utiliza disolventes o soluciones alcalinas para eliminar el aceite, los lubricantes y otros compuestos orgánicos de la superficie del sustrato. Los agentes de limpieza comúnmente utilizados incluyen soluciones de etanol, acetona o hidróxido de sodio, que se enjuagan con agua desionizada después de la limpieza para garantizar que no queden residuos. La limpieza química es adecuada para sustratos con formas complejas y puede penetrar profundamente en grietas y orificios para garantizar una superficie completamente limpia. Este proceso requiere atención a la selección de agentes de limpieza para evitar la corrosión del sustrato.

3.4.1.3 Limpieza por ultrasonidos

La limpieza ultrasónica utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para crear pequeñas burbujas en el líquido, que estallan con una fuerza de impacto que despega las diminutas partículas y residuos de la superficie del sustrato. La limpieza ultrasónica es especialmente adecuada para componentes delicados como palas de motores aeronáuticos o piezas de equipos semiconductores. La solución de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

limpieza suele ser agua desionizada o un agente de limpieza suave, y el tiempo y la frecuencia de limpieza deben ajustarse de acuerdo con las características del sustrato para garantizar los resultados de la limpieza sin dañar la superficie.

3.4.2 Tecnología de pulverización térmica

La tecnología de pulverización térmica funde y rocía alambre de molibdeno sobre la superficie del sustrato a altas temperaturas para formar una capa protectora. Los métodos de pulverización térmica más utilizados son la pulverización con llama, la pulverización con plasma, la pulverización con arco y la pulverización con oxígeno (HVOF) de alta velocidad.

3.4.2.1 Proceso de pulverización con llama

La pulverización con llama utiliza una llama de oxígeno-acetileno para calentar el alambre de molibdeno para derretirlo o semifundirlo, que luego se rocía sobre la superficie del sustrato mediante aire comprimido. El equipo de pulverización de llama es simple y flexible de operar, lo que es adecuado para la construcción en el sitio o la pulverización de componentes grandes. Sin embargo, debido a la temperatura de llama más baja, la porosidad del recubrimiento es mayor y la adherencia es relativamente débil, lo que es adecuado para escenarios con bajos requisitos de rendimiento, como la reparación de piezas mecánicas.

3.4.2.2 Proceso de pulverización con plasma

La pulverización de plasma genera un plasma a alta temperatura (hasta 15.000 °C) a través de un arco eléctrico que derrite rápidamente el alambre de molibdeno y lo rocía sobre la superficie del sustrato a alta velocidad. La pulverización de plasma crea un recubrimiento denso y adhesivo para aplicaciones de alto rendimiento, como equipos aeroespaciales y energéticos. El control preciso de los parámetros del proceso es clave, incluido el tipo de gas plasma, la intensidad de la corriente y la distancia de pulverización.

3.4.2.3 Proceso de pulverización por arco

La pulverización por arco utiliza el calentamiento por arco entre dos alambres de molibdeno para derretir el alambre y rociarlo a través de aire comprimido sobre el sustrato. La pulverización por arco tiene una alta eficiencia de deposición y es adecuada para la pulverización de grandes superficies, como estructuras de acero de puentes o componentes de barcos. La calidad del recubrimiento depende de la coordinación de la estabilidad del arco y la velocidad de alimentación del alambre, y el ajuste adecuado del proceso puede mejorar significativamente el rendimiento del recubrimiento.

3.4.2.4 Oxicorte de pulverización a alta velocidad (HVOF)

La pulverización HVOF produce una llama de alta velocidad a través de la combustión de oxígeno y combustible (por ejemplo, queroseno), que inyecta alambre de molibdeno fundido sobre el sustrato a velocidad supersónica. Los recubrimientos HVOF tienen una porosidad extremadamente baja, alta dureza y adherencia, lo que los convierte en la primera opción para aplicaciones de alta gama, como motores aeronáuticos y turbinas de gas. La complejidad del proceso es alta, pero sus propiedades de recubrimiento superiores lo hacen indispensable en áreas críticas.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

3.4.3 Tratamiento posterior a la pulverización

El tratamiento posterior a la pulverización está diseñado para optimizar el rendimiento de los recubrimientos, incluido el tratamiento térmico, el pulido y los tratamientos de sellado.

3.4.3.1 Tratamiento térmico y recocido

El tratamiento térmico mejora la microestructura calentando el recubrimiento en vacío o atmósfera protectora, eliminando las tensiones residuales. El proceso de recocido fortalece la adhesión del recubrimiento al sustrato y mejora la resistencia al choque térmico. La temperatura del tratamiento térmico y el tiempo de retención deben ajustarse de acuerdo con el espesor del recubrimiento y las características del sustrato para evitar la degradación del rendimiento debido al sobrecalentamiento.

3.4.3.2 Recubrimiento, pulido y acabado

El pulido suaviza la superficie del recubrimiento por métodos mecánicos o electroquímicos, reduciendo la rugosidad y la fricción. El pulido mecánico utiliza abrasivos de diamante, mientras que el pulido electroquímico utiliza la electrólisis para lograr un efecto de espejo. El recubrimiento pulido funciona mejor en piezas deslizantes como los anillos del pistón y prolonga significativamente la vida útil.

3.4.3.3 Tratamiento de sellado del recubrimiento

Los tratamientos de sellado utilizan selladores orgánicos (por ejemplo, epoxi) o inorgánicos (por ejemplo, sílice) para llenar los poros del recubrimiento y evitar la penetración de medios corrosivos. Los tratamientos de sellado son particularmente adecuados para recubrimientos en entornos marinos o químicos y pueden mejorar en gran medida la durabilidad. La elección del sellador se basa en la compatibilidad con el recubrimiento para garantizar la estabilidad a largo plazo.

3.5 Optimización del proceso de producción de alambre de pulverización de molibdeno

La optimización del proceso es la clave para mejorar la calidad y la eficiencia del alambre de pulverización de molibdeno, lo que implica el control de parámetros, la garantía de calidad y la fabricación ecológica.

3.5.1 Optimización y control de los parámetros del proceso

La optimización de procesos mejora la consistencia y el rendimiento del producto mediante el ajuste de los parámetros en el trefilado, la pulverización y más. Por ejemplo, durante el proceso de trefilado, es necesario equilibrar la velocidad y la tensión del trefilado para garantizar que el alambre sea uniforme; Durante el proceso de pulverización, es necesario optimizar la distancia de pulverización y el flujo de gas para mejorar la calidad del recubrimiento. El sistema de monitoreo en tiempo real garantiza parámetros estables y mejora la eficiencia de la producción a través de sensores y mecanismos de retroalimentación.

3.5.2 Sistema de aseguramiento de la calidad

El sistema de aseguramiento de la calidad abarca todo el proceso, desde las materias primas hasta los productos terminados, siguiendo la norma ISO 9001. Incluyendo pruebas de pureza de materias primas, inspección del tamaño del alambre y pruebas de rendimiento del recubrimiento. El mecanismo de trazabilidad de los lotes garantiza que los problemas se puedan rastrear y que el

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

proceso se mejore continuamente. El aseguramiento de la calidad no es solo un requisito técnico, sino también un reflejo de la reputación corporativa.

3.5.3 Fabricación ecológica y tecnologías de ahorro de energía

La fabricación ecológica se centra en la conservación de la energía, la reducción de emisiones y el reciclaje de recursos. Se utilizan equipos eficientes para reducir el consumo de energía, recuperar partículas de molibdeno rociadas y reducir los desechos. Reducir las emisiones de carbono mediante el uso de energía renovable para alimentar los equipos de producción. La fabricación ecológica no solo cumple con los requisitos de protección del medio ambiente, sino que también mejora la competitividad de las empresas en el mercado.

3.6 Puntos técnicos clave

La tecnología de producción de alambre de pulverización de molibdeno es un proceso de fabricación de alta gama que integra la ciencia de los materiales, la ingeniería mecánica y la tecnología de tratamiento de superficies, cuyo núcleo es garantizar la alta pureza del alambre de molibdeno, el excelente rendimiento del recubrimiento y la eficiencia y consistencia del proceso de recubrimiento. Esta sección analizará en profundidad los tres puntos técnicos clave de la preparación del alambre de molibdeno de alta pureza, el control de calidad del recubrimiento por pulverización y la eficiencia y consistencia de la pulverización, revelando cómo estas tecnologías desempeñan un papel vital en la producción de alambre de pulverización de molibdeno.

3.6.1 Tecnología de preparación de alambre de molibdeno de alta pureza

El alambre de molibdeno de alta pureza es la base del proceso de pulverización, y su tecnología de preparación determina directamente las propiedades físicas, la estabilidad química y el efecto de pulverización del alambre. Como metal de transición de alto punto de fusión y resistente a la corrosión, el molibdeno necesita superar sus propiedades duras y quebradizas y su alta sensibilidad al oxígeno para producir alambre con alta pureza y rendimiento estable.

La preparación del alambre de molibdeno de alta pureza comienza con el procesamiento del polvo de molibdeno de alta pureza. Como se mencionó anteriormente, el polvo de molibdeno se obtiene reduciendo el óxido de molibdeno por hidrógeno, pero su pureza y propiedades de partículas deben optimizarse aún más para satisfacer las necesidades del proceso de trefilado. Durante el proceso de preparación, el polvo de molibdeno debe filtrarse y clasificarse estrictamente para eliminar las partículas de tamaño excesivo o insuficiente para garantizar una distribución uniforme de las partículas. Esta uniformidad es esencial para el prensado y la sinterización posteriores, ya que cualquier grano desigual puede provocar defectos internos en la palanquilla, que a su vez pueden afectar a la resistencia y ductilidad del alambre.

El prensado del polvo de molibdeno adopta la tecnología de prensado isostático en frío, y el polvo se compacta en palanquilla verde aplicando una presión uniforme a través de un medio líquido. Este método mejora significativamente la densidad y la consistencia estructural de la pieza en bruto en comparación con el prensado unidireccional tradicional. Las palanquillas verdes prensadas se introducen en un horno de sinterización a alta temperatura donde se calientan hasta cerca del punto

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

de fusión del molibdeno en un entorno de hidrógeno o vacío. El proceso de sinterización no solo une las partículas de polvo en una estructura metálica fuerte, sino que también elimina la porosidad interna a través de la recombinación y difusión de los granos. El diseño del horno de sinterización debe tener en cuenta la pureza de la atmósfera y la uniformidad de la temperatura para evitar la oxidación o el crecimiento anormal del grano.

La palanquilla de molibdeno sinterizado debe procesarse en varillas delgadas de molibdeno mediante forja en caliente o laminación en caliente en preparación para el proceso de trefilado. La forja en caliente hace que la estructura del grano de la pieza en bruto sea más densa y mejora su ductilidad a través del martilleo o la extrusión repetidos. El laminado en caliente utiliza una serie de rodillos para reducir gradualmente el diámetro de la palanquilla para producir varillas de molibdeno adecuadas para el trefilado. Todo el proceso térmico debe llevarse a cabo a altas temperaturas para reducir la fragilidad del molibdeno, pero temperaturas demasiado altas pueden provocar la oxidación de la superficie, por lo que debe operarse en una atmósfera protectora.

El trefilado es el eslabón central de la preparación del alambre de molibdeno de alta pureza, y la varilla de molibdeno se procesa en filamento mediante un proceso de trefilado monomodo o multimodo. El trefilado de un solo troquel es adecuado para la producción de alambre de bajo volumen y alta precisión, y el troquel y el lubricante deben ajustarse cuidadosamente para cada trefilado para garantizar que la superficie del alambre sea lisa y sin grietas. El trefilado continuo multimodo es más adecuado para la producción a gran escala, y el procesamiento eficiente se puede lograr mediante equipos automatizados. En el proceso de trefilado, la selección de lubricantes y el control de la velocidad de alimentación del alambre son particularmente importantes, y los lubricantes de uso común, como la emulsión de grafito o el disulfuro de molibdeno, pueden reducir eficazmente el desgaste del troquel y mejorar la calidad del alambre. El alambre de molibdeno estirado debe recocerse para eliminar la tensión interna y restaurar la estabilidad de la estructura cristalina, a fin de garantizar que tenga buenas propiedades mecánicas durante el proceso de pulverización.

La tecnología de preparación de alambre de molibdeno de alta pureza requiere no solo la precisión del proceso, sino también el control integral de las materias primas, el equipo y el medio ambiente. Por ejemplo, la sala de producción debe mantenerse limpia para evitar que el polvo o las impurezas contaminen el alambre; El equipo de trefilado debe calibrarse regularmente para garantizar la precisión del diámetro del orificio del troquel. En conjunto, estos detalles determinan la calidad del alambre de molibdeno, lo que le permite satisfacer las necesidades de aplicaciones de alta gama, como las industrias aeroespacial y automotriz.

3.6.2 Control de calidad de los recubrimientos por pulverización

La calidad del recubrimiento de pulverización es un indicador importante para medir el nivel técnico de la producción de alambre de pulverización de molibdeno. Los recubrimientos de alta calidad requieren una excelente adherencia, un espesor uniforme y una buena resistencia al desgaste y a la corrosión. El control de calidad del recubrimiento está presente en cada paso del proceso de pulverización, desde el pretratamiento del sustrato hasta el ajuste de los parámetros del

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

recubrimiento y la inspección del recubrimiento, lo que garantiza que el producto final cumpla con los estrictos estándares de la industria.

El pretratamiento del sustrato es el punto de partida para el control de calidad del recubrimiento. La limpieza y rugosidad de la superficie del sustrato afecta directamente la adherencia del recubrimiento, por lo que es necesario eliminar a fondo el aceite, los óxidos y otras impurezas mediante métodos como el chorreado mecánico, la limpieza química y la limpieza ultrasónica. El arenado aumenta la rugosidad de la superficie del sustrato al inyectar un abrasivo (como la alúmina) a alta velocidad, creando una estructura microscópica cóncava-convexa que facilita el acoplamiento mecánico del recubrimiento al sustrato. La limpieza química utiliza disolventes suaves o lejías para eliminar los contaminantes orgánicos, mientras que la limpieza ultrasónica utiliza el efecto de explosión de pequeñas burbujas creadas por ondas sonoras de alta frecuencia para eliminar las partículas diminutas que son difíciles de alcanzar. Estos pasos de pretratamiento deben diseñarse individualmente de acuerdo con el material y la forma del sustrato para garantizar una condición superficial ideal.

El control de parámetros en el proceso de pulverización es el núcleo de la gestión de calidad. Los parámetros de funcionamiento de los equipos de pulverización, como las pistolas de pulverización de arco o los sistemas de pulverización de plasma, incluida la distancia de pulverización, el flujo de gas, la intensidad de la corriente y la velocidad de alimentación del alambre, deben coordinarse con precisión. Por ejemplo, rociar demasiado cerca puede hacer que el recubrimiento se sobrecaliente y provoque grietas, mientras que rociar demasiado lejos puede hacer que las gotas se enfríen demasiado rápido y reduzcan la adherencia. La regulación del flujo de gas afecta la velocidad de inyección y la eficiencia de deposición de las gotas fundidas, mientras que la selección de la intensidad de corriente determina el grado de fusión del alambre de molibdeno. Los equipos de pulverización modernos a menudo están equipados con un sistema de monitoreo en tiempo real que captura datos como la temperatura, la presión y la velocidad a través de sensores, y ajusta los parámetros a tiempo para mantener la estabilidad del proceso.

Las pruebas de calidad del recubrimiento son la última línea de defensa para el control de calidad. Los métodos de inspección comúnmente utilizados incluyen análisis microestructural, pruebas de adherencia y evaluación de resistencia a la abrasión. La microscopía electrónica de barrido (SEM) se utiliza para observar la topografía microscópica de los recubrimientos y comprobar la presencia de poros, grietas o partículas sin fundir. Las pruebas de adherencia evalúan la resistencia de un recubrimiento a un sustrato a través de una prueba de tracción o cizallamiento, comúnmente utilizada según la norma ASTM C633. La prueba de resistencia a la abrasión simula el desgaste del recubrimiento en el uso real, y la durabilidad del recubrimiento se mide mediante una máquina de prueba de fricción. Además, el espesor y la uniformidad del recubrimiento se evalúan mediante un medidor de espesor ultrasónico o un análisis de fluorescencia de rayos X para garantizar el cumplimiento de los requisitos de diseño.

El control de calidad del recubrimiento también requiere el establecimiento de un sistema integral de gestión de calidad. Cada lote de producción debe documentarse en detalle, incluida la

[Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

información sobre la materia prima, los parámetros del proceso y los resultados de las pruebas, para una trazabilidad completa. Las normas internacionales como la ISO 9001 proporcionan un marco normativo para la gestión de la calidad, garantizando la estabilidad del proceso de producción y la consistencia de los productos a través de auditorías periódicas y la mejora continua. Este enfoque sistemático del control de calidad permite que los recubrimientos de alambre de pulverización de molibdeno satisfagan las necesidades de aplicaciones exigentes, como los recubrimientos resistentes al desgaste para álabes de turbinas de gas o anillos de pistón de automóviles.

3.6.3 Eficiencia y consistencia de la pulverización

La eficiencia y la consistencia de la pulverización son consideraciones clave en la tecnología de producción, lo que afecta directamente los costos de producción y la calidad del producto. Un proceso de pulverización eficiente permite depositar grandes áreas de recubrimiento en un corto período de tiempo, mientras que la consistencia garantiza un rendimiento de recubrimiento constante para cada componente y evita defectos causados por las fluctuaciones del proceso.

La mejora de la eficiencia de la pulverización depende de la optimización de los equipos y de la mejora de los procesos. Los sistemas de pulverización modernos utilizan una fuente de calor de alta potencia, como plasma o HVOF, para derretir rápidamente el alambre de molibdeno y formar una corriente de goteo de fusión a alta velocidad, lo que resulta en tasas de deposición más altas. La introducción de un sistema automatizado de alimentación de alambre ha mejorado significativamente la eficiencia, ya que es capaz de alimentar alambre de molibdeno a una velocidad y ángulo constantes en comparación con la alimentación manual de alambre, lo que reduce el error de operación humana. La eficiencia se mejora aún más mediante el uso de robots de pulverización, que pueden mover con precisión la pistola a lo largo de una trayectoria preestablecida para cubrir la superficie de sustratos de formas complejas para una deposición rápida y uniforme del recubrimiento.

Para lograr la coherencia se requieren varios enfoques. En primer lugar, la calidad del alambre de molibdeno debe ser estable, incluida la uniformidad del diámetro, el acabado de la superficie y la composición química. Cualquier inconsistencia del alambre puede provocar fluctuaciones en el tamaño de las gotas o la velocidad del chorro, lo que afecta la calidad del recubrimiento. En segundo lugar, la estabilidad del equipo de pulverización es crucial. El suministro de energía, el sistema de suministro de gas y el sistema de enfriamiento de la planta requieren un mantenimiento regular para evitar desviaciones del proceso debido al envejecimiento o mal funcionamiento del equipo. Además, no se debe ignorar el control de los factores ambientales, y el taller de pulverización debe mantener una temperatura y humedad constantes para evitar la influencia de las condiciones externas en la deposición de las gotas de fusión.

La estandarización de los parámetros del proceso es un medio importante para garantizar la coherencia. Al establecer procedimientos operativos detallados (SOP) que definen el rango y el método de ajuste para cada parámetro, los operadores pueden mantener condiciones de proceso consistentes de un lote a otro. La gestión de procesos basada en datos es una tendencia de desarrollo en los últimos años, a través de la tecnología IoT y el análisis de big data, los datos clave en el

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

proceso de pulverización se recopilan en tiempo real, los problemas potenciales se predicen e intervienen con anticipación. Por ejemplo, algunos sistemas de pulverización avanzados pueden utilizar algoritmos de aprendizaje automático para optimizar las combinaciones de parámetros y mejorar significativamente la consistencia del recubrimiento.

Equilibrar la eficiencia y la consistencia de la pulverización requiere una combinación de necesidades de producción y factores de costo. Un énfasis excesivo en la eficiencia puede conducir a una disminución en la calidad del recubrimiento, mientras que un énfasis excesivo en la consistencia puede aumentar el tiempo y los costos de producción. Por lo tanto, los fabricantes deben encontrar el mejor equilibrio en el diseño de procesos para lograr una producción eficiente y de alta calidad a través de la innovación tecnológica y la optimización de procesos.

3.7 Aplicación de tecnología avanzada

Con el rápido desarrollo de la ciencia de los materiales y la tecnología de fabricación, la tecnología de producción de alambre de pulverización de molibdeno incorpora constantemente tecnología de vanguardia para satisfacer las necesidades de un mayor rendimiento y aplicaciones más complejas. En esta sesión se discutirá la aplicación de la tecnología de pulverización a nanoescala, la tecnología de pulverización asistida por láser, la tecnología de pulverización en frío y los sistemas de pulverización inteligentes y automatizados, y se mostrará cómo estas tecnologías avanzadas pueden impulsar la innovación tecnológica en la industria del alambre de pulverización de molibdeno.

3.7.1 Tecnología de pulverización a nanoescala

La tecnología de pulverización a nanoescala es un método avanzado para mejorar el rendimiento mediante el control de la microestructura de un recubrimiento hasta la nanoescala. Mientras que el tamaño de grano de los recubrimientos en aerosol convencionales suele estar en el rango de micras, la pulverización a nanoescala reduce el tamaño de grano del recubrimiento a la escala nanométrica al optimizar los parámetros del recubrimiento y las propiedades del material. Esta estructura de grano fino mejora significativamente la dureza, la tenacidad y la resistencia al desgaste del recubrimiento, lo que lo hace excelente en entornos extremos.

En la aplicación de alambre de pulverización de molibdeno, la tecnología de pulverización a nanoescala se logra ajustando la fuente de calor y el comportamiento de deposición de gotas durante el proceso de pulverización térmica. La pulverización con plasma y la pulverización HVOF son plataformas tecnológicas de uso común que generan gotas de fusión más finas mediante el control preciso de la composición del gas de plasma, la potencia de pulverización y la velocidad de inyección. Estas gotas se solidifican rápidamente en la superficie del sustrato para formar estructuras de grano a nanoescala. Para optimizar aún más los resultados, en algunos procesos se introducen polvos de molibdeno a nanoescala o dopantes (como nanopartículas de circonio o alúmina), que se depositan conjuntamente con el alambre de molibdeno durante el proceso de pulverización para formar un recubrimiento compuesto.

La ventaja de la tecnología de pulverización a nanoescala es que puede mejorar significativamente el rendimiento de los recubrimientos. Por ejemplo, la aplicación de un recubrimiento de molibdeno

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

a nanoescala en las palas de las turbinas de los motores aeronáuticos puede resistir eficazmente la oxidación a alta temperatura y el desgaste mecánico, y prolongar la vida útil de los componentes. Además, el nanorrecostrucción tiene una superficie más lisa y un coeficiente de fricción más bajo, lo que lo hace adecuado para piezas deslizantes de alta precisión, como anillos de pistón de automóviles o sellos de sistemas hidráulicos. Sin embargo, la tecnología de pulverización a nanoescala es extremadamente exigente en el control del proceso, e incluso la más mínima desviación en cualquier parámetro puede dar lugar a inconsistencias en el tamaño de grano, lo que requiere equipos de monitoreo avanzados y soporte técnico técnico.

3.7.2 Tecnología de pulverización asistida por láser

La tecnología de pulverización asistida por láser combina la alta densidad de energía de los láseres con la flexibilidad de la pulverización térmica para revolucionar la producción de alambres de molibdeno recubiertos de pulverización. En la pulverización térmica tradicional, el alambre de molibdeno se funde por llama, plasma o arco, mientras que el recubrimiento asistido por láser utiliza un rayo láser como fuente de calor auxiliar o herramienta de posprocesamiento, lo que mejora significativamente la calidad y precisión del recubrimiento.

En la pulverización asistida por láser, el rayo láser puede funcionar de forma sincronizada con una fuente de calor de pulverización, como plasma o arco, para precalentar la superficie del sustrato o ayudar a derretir el alambre de molibdeno. El alto enfoque del láser da como resultado una entrada de calor más concentrada, lo que reduce la zona afectada por el calor y reduce el riesgo de distorsión térmica del sustrato. Además, el láser es capaz de controlar con precisión la temperatura y la trayectoria de deposición de las gotas fundidas, lo que da como resultado un recubrimiento más uniforme y una menor porosidad. Algunos sistemas avanzados incluso usan láseres para volver a fundir el recubrimiento rociado, lo que refina la microestructura del recubrimiento al derretirse y solidificarse rápidamente, mejorando aún más su compacidad y fuerza de unión.

La tecnología de pulverización asistida por láser se puede utilizar en una amplia gama de aplicaciones. En el sector aeroespacial, la pulverización asistida por láser permite la preparación de recubrimientos de molibdeno de alto rendimiento sobre sustratos de aleaciones a base de titanio o níquel para la protección de álabes de turbinas o cámaras de combustión. En la industria energética, la pulverización asistida por láser se utiliza para crear recubrimientos que son resistentes a la corrosión a alta temperatura y prolongan la vida útil de los componentes de turbinas de gas o calderas. La introducción de la tecnología láser también ha aumentado la flexibilidad del proceso, permitiendo el procesamiento de sustratos con formas complejas, como superficies curvas o estructuras porosas. Sin embargo, el costo de los equipos láser es alto y la operación es compleja, requiriendo técnicos altamente calificados y un sistema de mantenimiento completo.

3.7.3 Tecnología de pulverización en frío

La tecnología de pulverización en frío es una tecnología emergente que interrumpe la pulverización térmica tradicional, y su núcleo es pulverizar partículas sólidas sobre la superficie del sustrato a través de un flujo de aire de alta velocidad, en lugar de depender de la fusión a alta temperatura. Para la aplicación de alambre de pulverización de molibdeno, la tecnología de pulverización en frío

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

logra la deposición del recubrimiento a bajas temperaturas mediante el procesamiento del alambre de molibdeno en partículas de tamaño micrométrico o directamente utilizando polvo de molibdeno. Esta tecnología es única en el sentido de que evita la oxidación, la transición de fase o los problemas de estrés térmico asociados con las altas temperaturas, lo que la hace particularmente adecuada para sustratos sensibles al calor.

Durante el proceso de pulverización en frío, las partículas de molibdeno se aceleran a velocidades supersónicas (generalmente impulsadas por helio o nitrógeno) para golpear la superficie del sustrato con una energía cinética extremadamente alta. Las partículas sufren una violenta deformación plástica en el momento del impacto, formando un enlace mecánico o metalúrgico con el sustrato para formar una capa densa. El recubrimiento rociado en frío tiene una porosidad muy baja y una excelente adherencia, al tiempo que conserva la composición química original y la estructura cristalina del molibdeno. Esta propiedad hace que la pulverización en frío sea especialmente adecuada para la preparación de recubrimientos de molibdeno de alta pureza y resistentes a la corrosión para su uso en equipos químicos o en alta mar.

El desafío de la tecnología de pulverización en frío radica en sus altos requisitos para las propiedades de las partículas y el rendimiento del equipo. El tamaño, la morfología y la fluidez de las partículas de molibdeno deben controlarse con precisión para garantizar la estabilidad del aerosol y la uniformidad del recubrimiento. Además, los equipos de pulverización en frío requieren un sistema de gas a alta presión y un diseño sofisticado de boquilla, lo que aumenta los costos de producción. Sin embargo, la naturaleza a baja temperatura de la pulverización en frío la hace prometedora para aplicaciones aeroespaciales, electrónicas y médicas, como la preparación de recubrimientos funcionales para aleaciones de aluminio o sustratos poliméricos.

3.7.4 Sistemas de pulverización inteligentes y automatizados

La introducción del sistema de pulverización inteligente y automatizado marca la llegada de la tecnología de producción de alambre de pulverización de molibdeno hacia la era de la Industria 4.0. Al integrar sensores, robótica, inteligencia artificial y análisis de big data, estos sistemas han hecho que el proceso de pulverización sea automatizado, inteligente y eficiente, mejorando significativamente la eficiencia de la producción y la calidad del producto.

El sistema de pulverización automatizado está equipado con pistolas de pulverización de alta precisión y dispositivos de alimentación de alambre con robots industriales como núcleo, que pueden completar la pulverización de sustratos complejos de acuerdo con la ruta preestablecida. A través de la tecnología de reconocimiento visual y planificación de rutas, el robot se adapta a sustratos de diferentes formas y tamaños, lo que reduce la intervención manual. El sensor monitorea los parámetros de pulverización como la temperatura, la presión y la velocidad de las gotas en tiempo real y se ajusta automáticamente a través de un sistema de retroalimentación para garantizar la estabilidad del proceso. Algunos sistemas avanzados también integran capacidades de inspección en línea para verificar el espesor y los defectos de los recubrimientos a través de escaneo láser o imágenes infrarrojas, e identificar problemas de manera oportuna.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Los sistemas de pulverización inteligentes van un paso más allá, utilizando algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático para optimizar el proceso. Por ejemplo, los sistemas de IA son capaces de analizar los datos históricos de pulverización para predecir la mejor combinación de parámetros y reducir el coste de las pruebas. La tecnología de computación en la nube permite compartir los datos de múltiples bases de producción, formar una base de datos de procesos unificada y mejorar la capacidad de gestión técnica de la empresa. Además, el sistema inteligente también admite el monitoreo y el mantenimiento remotos, y los operadores pueden ver el estado del equipo en tiempo real a través de dispositivos móviles y responder rápidamente a las fallas.

La aplicación de un sistema de pulverización inteligente y automatizado ha mejorado significativamente la eficiencia de producción de alambre de pulverización de molibdeno. En la industria automotriz, por ejemplo, las líneas de pulverización automatizadas son capaces de procesar continuamente miles de anillos de pistón con una consistencia de recubrimiento de más del 99%. En el sector aeroespacial, los sistemas inteligentes proporcionan soluciones de recubrimiento personalizadas para piezas con geometrías complejas y acortan los ciclos de producción. La amplia aplicación de estas tecnologías no solo ha mejorado la competitividad de la industria, sino que también ha promovido el desarrollo de la tecnología de pulverización en una dirección más eficiente e inteligente.

3.8 Desafíos técnicos y soluciones

Aunque se han logrado avances significativos en la tecnología de producción de alambre de pulverización de molibdeno, todavía existen una serie de desafíos técnicos, incluido el pelado y agrietamiento del recubrimiento, la oxidación a alta temperatura y la degradación del rendimiento, el equilibrio de los costos de producción y la eficiencia, y la adaptabilidad de sustratos complejos. En esta sección se analizarán las causas de estos desafíos y se propondrán soluciones prácticas.

3.8.1 Recubrimiento, descamación y agrietamiento

El descascarillado y agrietamiento del recubrimiento es un problema común en las aplicaciones de alambre de pulverización de molibdeno y, a menudo, es causado por una adhesión insuficiente del recubrimiento al sustrato, acumulación de estrés térmico o defectos dentro del recubrimiento. El desconchado puede hacer que el recubrimiento falle, mientras que el agrietamiento puede desencadenar una mayor corrosión o desgaste, acortando la vida útil de los componentes.

La causa principal del descascarillado del recubrimiento es la insuficiente preparación de la superficie del sustrato o los parámetros de pulverización inadecuados. El aceite, los óxidos o la rugosidad desigual en la superficie del sustrato pueden debilitar la adhesión del recubrimiento al sustrato. Resolver este problema requiere un pretratamiento mejorado del sustrato, limpieza de varias etapas y procesos de arenado para garantizar que la superficie esté limpia y tenga la rugosidad adecuada. Además, la optimización de los parámetros de pulverización, como la disminución de la temperatura de pulverización o el ajuste de la distancia de pulverización, puede reducir el enfriamiento rápido de las gotas de fusión y mejorar la adherencia del recubrimiento.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

El agrietamiento generalmente es causado por estrés térmico o mecánico. Durante el proceso de pulverización, la diferencia en el coeficiente de expansión térmica entre el recubrimiento de molibdeno y el sustrato puede provocar la acumulación de tensión, especialmente durante el enfriamiento a alta temperatura. Las soluciones incluyen el uso de técnicas de recubrimiento en gradiente para suavizar las diferencias en el coeficiente de expansión térmica mediante la introducción de una capa de transición (por ejemplo, aleaciones a base de níquel) entre el sustrato y el recubrimiento de molibdeno. El tratamiento térmico y el recocido también son métodos efectivos para eliminar las tensiones residuales y mejorar la tenacidad del recubrimiento a través del enfriamiento lento. Además, los procesos de pulverización mejorados, como la pulverización en frío con bajo aporte de calor, pueden reducir significativamente el agrietamiento causado por el estrés térmico.

3.8.2 Oxidación a alta temperatura y degradación del rendimiento

La oxidación de los recubrimientos de molibdeno a altas temperaturas es otro desafío importante. El molibdeno reacciona fácilmente con el oxígeno a altas temperaturas para formar óxido de molibdeno volátil (MoO_3), lo que conduce a la degradación o incluso al fallo del recubrimiento. Este problema es especialmente grave en aplicaciones de alta temperatura, como motores aeronáuticos y turbinas de gas.

Las soluciones para la oxidación a alta temperatura incluyen la aplicación de modificaciones superficiales y recubrimientos protectores. La siliconación es un método eficaz para mejorar significativamente la resistencia a la oxidación mediante la formación de una capa protectora de MoSi_2 en la superficie del alambre o recubrimiento de molibdeno. Otro método es dopar elementos de tierras raras como el lantano o el cerio para mejorar la estabilidad a alta temperatura del recubrimiento refinando los granos y formando una capa de óxido estable. Además, las tecnologías de pre-recubrimiento, como los recubrimientos de alúmina o zirconio, reducen la formación de óxido durante el proceso de pulverización y prolongan la vida útil del recubrimiento.

La optimización del proceso también es un medio importante para hacer frente a la oxidación a alta temperatura. Por ejemplo, el uso de un gas inerte (por ejemplo, argón) como atmósfera de pulverización puede aislar eficazmente el oxígeno y reducir las reacciones de oxidación. La aplicación de la tecnología de pulverización en frío evita la fusión a alta temperatura y reduce radicalmente el riesgo de oxidación. Al combinar estos métodos, los recubrimientos de molibdeno pueden mantener la estabilidad del rendimiento a largo plazo a altas temperaturas.

3.8.3 Equilibrio entre el coste de producción y la eficiencia

El costo de producción del alambre de pulverización de molibdeno es alto, principalmente debido al consumo de materias primas, equipos y energía. Cómo mejorar la eficiencia de la producción y reducir los costos mientras se mantiene una alta calidad es un desafío importante que enfrenta la industria.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 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- 2024V
sales@chinatungsten.com

El control del costo de la materia prima debe comenzar desde la preparación del polvo de molibdeno. Al optimizar el proceso de beneficio y purificación, se puede mejorar la tasa de recuperación del concentrado de molibdeno y reducir los costos de producción. Además, el reciclaje de las partículas de salpicaduras y los residuos del proceso de pulverización reduce significativamente el desperdicio de materias primas. La reducción de los costes de los equipos depende de la promoción del diseño modular y la tecnología de localización. Por ejemplo, el costo del equipo de pulverización de plasma localizado es entre un 30% y un 50% más bajo que el de los equipos importados, y su rendimiento se está acercando gradualmente al nivel internacional.

El aumento de la eficiencia debe lograrse mediante la automatización y las tecnologías inteligentes. Las líneas de pulverización automatizadas reducen las operaciones manuales y aumentan las velocidades de producción, mientras que los sistemas inteligentes optimizan los parámetros del proceso a través del análisis de datos para reducir las pruebas innecesarias y las tasas de desechos. Además, la mejora de la eficiencia energética también es clave para reducir costes. El uso de fuentes de calor de alta eficiencia y sistemas de refrigeración que ahorran energía puede reducir el consumo de energía al tiempo que cumple con los requisitos de la fabricación ecológica.

3.8.4 Adaptabilidad de la pulverización de sustratos complejos

El recubrimiento de sustratos complejos, como superficies curvas, estructuras porosas o piezas de formas irregulares, es un desafío técnico y es difícil lograr una deposición uniforme del recubrimiento con los métodos de recubrimiento tradicionales, especialmente en piezas de alta precisión en los sectores aeroespacial y médico.

Una solución es utilizar sistemas de pulverización robóticos que se adapten a geometrías complejas del sustrato mediante el movimiento multieje y la planificación de la trayectoria. La introducción de la tecnología de reconocimiento visual permite al robot ajustar el ángulo y la distancia de pulverización en tiempo real para garantizar la uniformidad del recubrimiento. La pulverización asistida por láser también es un medio eficaz para recubrir superficies complejas con una fuente de calor altamente enfocada que permite un control preciso de la deposición de gotas.

La aplicación de la tecnología de pulverización en frío sobre sustratos complejos es prometedora. Debido a su naturaleza de baja temperatura, la pulverización en frío es capaz de manejar sustratos sensibles al calor, como polímeros o compuestos, sin causar deformación o degradación del rendimiento. Además, el desarrollo de accesorios de pulverización personalizados y herramientas auxiliares puede mejorar aún más la adaptabilidad del recubrimiento de sustratos complejos, lo que garantiza una cobertura de recubrimiento completa y consistente.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



CTIA GROUP LTD alambre de pulverización de molibdeno

Capítulo 4 Clasificación del alambre de pulverización de molibdeno

Como material importante para la tecnología de pulverización térmica, el rendimiento y la gama de aplicación del alambre de pulverización de molibdeno se diversifican debido a los diferentes procesos de producción, composiciones químicas y escenarios de uso. Para comprender y seleccionar mejor los alambres de pulverización de molibdeno adecuados, es necesario clasificarlos científicamente. Esta sección clasificará el alambre de pulverización de molibdeno en detalle a partir de las tres dimensiones de pureza, uso y proceso de pulverización, y discutirá las características, los métodos de preparación y los escenarios de aplicación de varios tipos de alambre de molibdeno.

4.1 Clasificación por pureza

La pureza del alambre de pulverización de molibdeno es el índice central de su rendimiento, que afecta directamente la estabilidad química, las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión del recubrimiento. De acuerdo con la diferencia del contenido de molibdeno y los elementos dopados en el alambre de molibdeno, se puede dividir en dos categorías: alambre de molibdeno de alta pureza y alambre de molibdeno dopado.

4.1.1 Alambre de molibdeno de alta pureza

El alambre de molibdeno de alta pureza se refiere al alambre de molibdeno con un contenido de molibdeno del 99,95% o superior, con impurezas muy bajas (como hierro, níquel, carbono, oxígeno) y, por lo general, cumple con los requisitos de las normas nacionales (como GB/T 4181-2017) o internacionales (como ASTM B387-18). El alambre de molibdeno de alta pureza se prepara a través de un proceso de purificación de varias etapas, que incluye lixiviación de amoníaco, reducción de hidrógeno y fundición al vacío, para garantizar que las trazas de impurezas se eliminen de manera efectiva.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Peculiaridad:

Alta estabilidad química: El alambre de molibdeno de alta pureza exhibe una excelente resistencia a la oxidación y química en entornos corrosivos y de alta temperatura, lo que lo hace adecuado para aplicaciones exigentes.

Excelente conductividad térmica: La alta pureza reduce la dispersión de impurezas en los límites de grano y mejora la conductividad térmica, lo que la hace adecuada para recubrimientos que requieren una gestión térmica eficiente.

Microestructura uniforme: el grano del alambre de molibdeno de alta pureza es fino y está distribuido uniformemente, la densidad del recubrimiento es alta y la porosidad es baja.

Alto costo: debido al complejo proceso de purificación, el costo de producción del alambre de molibdeno de alta pureza es alto, lo que es adecuado para el mercado de gama alta.

Proceso de preparación: La producción de alambre de molibdeno de alta pureza comienza con polvo de molibdeno de alta pureza. El polvo de molibdeno se prepara en una atmósfera reductora estrictamente controlada mediante un horno de reducción de hidrógeno y luego se prensa en una palanquilla de molibdeno mediante un proceso de pulvimetalurgia. La palanquilla de molibdeno se somete a procesos de sinterización a alta temperatura, laminación en caliente y trefilado múltiple para reducir gradualmente el diámetro y finalmente formar un filamento. Durante el proceso de trefilado se utilizan moldes de alta precisión y lubricantes de emulsión de grafito para garantizar que la superficie del alambre sea lisa y esté libre de defectos. El proceso de recocido se lleva a cabo bajo vacío o protección de hidrógeno, lo que alivia las tensiones internas y optimiza las propiedades mecánicas. La limpieza de superficies utiliza métodos químicos o ultrasónicos para eliminar los lubricantes y óxidos residuales, lo que garantiza un alto nivel de limpieza del filamento.

Escenario de aplicación: El alambre de molibdeno de alta pureza se usa ampliamente en campos con requisitos extremadamente altos para el rendimiento del recubrimiento. Por ejemplo, en el sector aeroespacial, los recubrimientos preparados con alambre de molibdeno de alta pureza se utilizan en álabes de turbinas y cámaras de combustión para resistir la oxidación a alta temperatura y el desgaste mecánico; En la industria de los semiconductores, el alambre de molibdeno de alta pureza se utiliza para el alambre calefactor de recubrimiento al vacío para garantizar que no haya contaminación por impurezas durante el proceso de recubrimiento; En la industria química, los recubrimientos de molibdeno de alta pureza protegen los reactores y las tuberías contra la erosión de los medios ácidos.

4.1.2 Alambre de molibdeno dopado

El alambre de molibdeno dopado es un alambre de molibdeno que agrega oligoelementos como elementos de tierras raras, partículas cerámicas u otros metales a la matriz de molibdeno para mejorar propiedades específicas. Los elementos dopados comunes incluyen óxido de lantano (La_2O_3), óxido de itrio (Y_2O_3), potasio (K) o carburo de silicio (SiC). La cantidad de dopaje suele controlarse entre el 0,1% y el 2% para equilibrar la mejora del rendimiento y el control de costes.

Peculiaridad:

Rendimiento mejorado a altas temperaturas: El alambre de molibdeno dopado con elementos de tierras raras (por ejemplo, dopaje con óxido de lantano) forma una capa protectora de óxido estable

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

a altas temperaturas, lo que mejora significativamente la resistencia a la oxidación.

Propiedades mecánicas mejoradas: Los elementos dopados refinan los granos, mejoran la resistencia a la tracción y la tenacidad, y reducen el riesgo de filamentos rotos durante el proceso de pulverización.

Características personalizadas: El alambre de molibdeno dopado se puede adaptar a los requisitos de la aplicación, como aumentar la resistencia al desgaste o disminuir el coeficiente de fricción.

Costo moderado: en comparación con el alambre de molibdeno de alta pureza, el costo de producción del alambre de molibdeno dopado es ligeramente menor, lo que es adecuado para aplicaciones industriales a gran escala.

Proceso de preparación: La preparación de alambre de molibdeno dopado introduce elementos dopados en la etapa de producción de polvo de molibdeno. Por ejemplo, el alambre de molibdeno dopado con óxido de lantano se produce mezclando una solución de óxido de lantano con molibdato de amonio para producir polvo de molibdeno dopado, que posteriormente se reduce. El polvo de molibdeno dopado se convierte en alambre de molibdeno mediante proceso de prensado, sinterización y estirado. Durante el proceso de sinterización, la temperatura y la atmósfera deben controlarse con precisión para garantizar que los elementos dopantes se distribuyan uniformemente y no sean volátiles. El proceso de estirado y recocido es similar al del alambre de molibdeno de alta pureza, pero los parámetros deben ajustarse para adaptarse al efecto de los elementos dopantes en la dureza del material. Se debe prestar especial atención al tratamiento de la superficie para evitar la pérdida de elementos dopantes durante el proceso de limpieza.

Escenarios de aplicación: El alambre de molibdeno dopado se usa ampliamente en escenarios industriales específicos debido a su optimización específica del rendimiento. Por ejemplo, el alambre de molibdeno dopado con óxido de lantano se utiliza para el recubrimiento resistente a altas temperaturas de las palas de las turbinas de gas para prolongar la vida útil de los componentes; Debido a su alta tenacidad, el alambre de molibdeno dopado con potasio es adecuado para el recubrimiento resistente al desgaste de los anillos de pistón de los automóviles; El alambre de molibdeno dopado con carburo de silicio se utiliza en equipos en alta mar para proporcionar una excelente resistencia al desgaste y a la corrosión. La diversificación del alambre de molibdeno dopado le permite lograr un equilibrio entre costo y rendimiento, y es particularmente adecuado para el mercado de gama media y alta.

4.2 Clasificación por uso

El alambre de pulverización de molibdeno se puede dividir en dos categorías: alambre de molibdeno para pulverización industrial y alambre de molibdeno para recubrimiento funcional según su uso final. Esta clasificación refleja los requisitos de rendimiento y el diseño del recubrimiento del alambre de molibdeno en diferentes escenarios de aplicación.

4.2.1 Alambre de molibdeno para pulverización industrial

El alambre de molibdeno para pulverización industrial se utiliza principalmente para preparar recubrimientos protectores, que están diseñados para mejorar la resistencia al desgaste, la resistencia a la corrosión y la resistencia a altas temperaturas del sustrato. Este tipo de alambre de molibdeno

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

es ampliamente utilizado en la producción industrial a gran escala, enfatizando la confiabilidad y rentabilidad del recubrimiento.

Peculiaridad:

Alta durabilidad: Los recubrimientos industriales en aerosol deben resistir la abrasión mecánica, el ataque químico o el impacto a alta temperatura, y el alambre de molibdeno debe tener propiedades mecánicas y químicas estables.

Alta eficiencia de deposición: La pulverización industrial se centra en la eficiencia de la producción, y el alambre de molibdeno debe adaptarse a un sistema automático de alimentación de alambre para garantizar un proceso de pulverización continuo y estable.

Versatilidad: El alambre de molibdeno para la pulverización industrial suele estar en especificaciones estándar y es adecuado para una variedad de sustratos (por ejemplo, acero, aluminio, cerámica).

Economía: El rendimiento y el costo del recubrimiento deben equilibrarse, y el alambre de molibdeno para la pulverización industrial es en su mayoría alambre de molibdeno de alta pureza o ligeramente dopado.

Proceso de preparación y aplicación: El proceso de preparación de alambre de molibdeno para pulverización industrial está relativamente estandarizado, utilizando polvo de molibdeno de alta pureza o polvo de molibdeno ligeramente dopado, hecho por pulvimetalurgia, trefilado y recocido. El proceso de pulverización es principalmente pulverización con llama y pulverización por arco, que es adecuado para la deposición de recubrimientos en grandes áreas debido a su equipo simple y bajo costo. Durante el proceso de pulverización, el alambre de molibdeno ingresa a la pistola rociadora a una velocidad constante a través del dispositivo de alimentación de alambre y, después de derretirse, forma gotas fundidas, que se rocían sobre la superficie del sustrato. Los tratamientos posteriores al recubrimiento, como el pulido o el tratamiento térmico, pueden optimizar aún más el rendimiento.

Escenario de aplicación: El alambre de molibdeno para pulverización industrial se usa ampliamente en los siguientes campos:

Industria automotriz: recubrimientos resistentes al desgaste y de alta temperatura para segmentos de pistón, bloques de cilindros y sistemas de escape para mejorar la eficiencia y la longevidad del motor.

Industria energética: Protege las tuberías de calderas, los intercambiadores de calor y los componentes de las turbinas eólicas contra la corrosión y el desgaste.

Marine & Offshore: Proporciona recubrimientos anticorrosivos para hélices y cascos para prolongar la vida útil de los equipos marinos.

Maquinaria de construcción: Cucharones para excavadoras y recubrimientos de superficie de equipos pesados para mejorar la resistencia al desgaste y al impacto.

4.2.2 Alambre de molibdeno para recubrimiento funcional

El alambre de molibdeno para recubrimientos funcionales se utiliza para preparar recubrimientos con funciones específicas, como recubrimientos autolubricantes, conductores de electricidad,

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

barrera térmica o biocompatibles. Estos alambres de molibdeno generalmente están dirigidos a aplicaciones de alta gama y requieren propiedades personalizadas para cumplir con requisitos técnicos específicos.

Peculiaridad:

Funcionalidad especial: Los recubrimientos funcionales están diseñados para aplicaciones específicas, como baja fricción, conductividad eléctrica o resistencia al choque térmico.

Requisitos de alta precisión: el recubrimiento debe tener un espesor y una microestructura precisos, y el tamaño y la calidad de la superficie del alambre de molibdeno son extremadamente altos.

Proceso complejo: La tecnología de pulverización avanzada (como la pulverización por plasma, HVOF) se utiliza a menudo para recubrimientos funcionales, que tienen requisitos estrictos sobre el comportamiento de fusión y la eficiencia de deposición del alambre de molibdeno.

Alto valor agregado: el alambre de molibdeno para recubrimiento funcional se usa principalmente en campos de alta tecnología, con alto valor de mercado pero alto costo de producción.

Proceso de preparación y aplicación: La preparación del alambre de molibdeno para el recubrimiento funcional debe personalizarse de acuerdo con la función del recubrimiento. Por ejemplo, el alambre de molibdeno para recubrimientos autolubricantes puede doparse con disulfuro de molibdeno o grafito, y el alambre de molibdeno para recubrimientos de barrera térmica puede estar compuesto con partículas cerámicas. El proceso de preparación incluye trefilado de alta precisión y recocido en varias etapas para garantizar la uniformidad y estabilidad del alambre. El proceso de pulverización es principalmente pulverización por plasma, HVOF o pulverización en frío, lo que permite un control preciso de la microestructura y las propiedades del recubrimiento. Se requiere un tratamiento previo fino del sustrato (por ejemplo, arenado o limpieza ultrasónica) antes de la pulverización para garantizar la adherencia del recubrimiento. El tratamiento posterior al recubrimiento puede incluir refundición o sellado con láser para optimizar las propiedades funcionales.

Escenario de aplicación: El alambre de molibdeno para recubrimiento funcional tiene una amplia gama de aplicaciones en los siguientes campos:

Aeroespacial: Los recubrimientos de barrera térmica se utilizan en los álabes de las turbinas para proteger los componentes de las altas temperaturas y la oxidación; Los recubrimientos conductores se utilizan para las piezas de contacto eléctrico de las naves espaciales.

Electrónica y semiconductores: El recubrimiento de molibdeno se utiliza para calentar cables en equipos de recubrimiento al vacío para garantizar un recubrimiento de alta pureza; Los recubrimientos autolubricantes se utilizan para deslizar componentes electrónicos a altas velocidades.

Médico: los recubrimientos de molibdeno biocompatibles se utilizan en articulaciones artificiales e implantes para reducir la corrosión de los fluidos corporales; Los recubrimientos antimicrobianos se utilizan para herramientas quirúrgicas.

Fabricación aditiva: El recubrimiento de molibdeno protege la boquilla de impresión 3D contra el desgaste del material fundido a alta temperatura.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 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- 2024V
sales@chinatungsten.com

4.3 Clasificación según el proceso de pulverización

De acuerdo con el proceso de pulverización aplicable, el alambre de molibdeno se puede dividir en alambre de molibdeno para pulverización con llama, alambre de molibdeno para pulverización por arco, alambre de molibdeno para pulverización por plasma, alambre de molibdeno para pulverización de combustible de oxígeno de alta velocidad (HVOF) y alambre de molibdeno para pulverización en frío. Esta clasificación refleja los requisitos de rendimiento y las características del proceso del alambre de molibdeno en diferentes tecnologías de pulverización.

4.3.1 Alambre de molibdeno para pulverización de llama

La pulverización con llama es un proceso de pulverización tradicional que utiliza una llama de oxiacetileno para calentar el alambre de molibdeno, derretirlo y rociarlo sobre la superficie del sustrato. El alambre de molibdeno para la pulverización de llama debe tener un comportamiento de fusión estable y propiedades mecánicas moderadas.

Peculiaridad:

Proceso simple: el equipo de pulverización de llama tiene un bajo costo, fácil operación y es adecuado para la construcción en el sitio.

Propiedades de recubrimiento moderadas: El recubrimiento tiene una alta porosidad y una adherencia media, lo que lo hace adecuado para aplicaciones industriales generales.

Los requisitos para el alambre de molibdeno son bajos: el diámetro suele ser de 1,6 a 3,0 mm, la superficie debe ser lisa, pero los requisitos de pureza son relativamente flexibles.

Proceso de preparación y aplicación: El alambre de molibdeno para la pulverización de llama está hecho principalmente de alambre de molibdeno de alta pureza o ligeramente dopado, que se prepara mediante un proceso de trefilado estándar. Durante el proceso de pulverización, el alambre de molibdeno ingresa a la pistola rociadora a través del dispositivo de alimentación de alambre, la llama de oxiacetileno lo derrite y el aire comprimido rocía las gotas fundidas sobre el sustrato. Después del recubrimiento, debe pulirse o sellarse para reducir la porosidad.

Escenarios de aplicación:

Reparación de piezas de automoción (por ejemplo, cigüeñales, pistones).

Recubrimientos resistentes a la abrasión para maquinaria de construcción (por ejemplo, cucharas de excavadoras).

Recubrimiento anticorrosivo para estructura de acero de puentes.

4.3.2 Alambre de molibdeno para pulverización por arco

La pulverización por arco utiliza un calor de arco formado entre dos alambres de molibdeno para derretir el alambre y rociarlo sobre la superficie del sustrato. El alambre de molibdeno para la pulverización por arco debe tener una alta conductividad y un rendimiento de alimentación de alambre estable.

Peculiaridad:

Alta eficiencia de deposición: la velocidad de pulverización del arco es rápida y es adecuada para

[Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

recubrimientos de gran área.

Mayor calidad de recubrimiento: El recubrimiento tiene una menor porosidad y una adhesión más fuerte que la pulverización con llama.

Diseño de doble hilo: dos hilos de molibdeno deben alimentarse sincrónicamente y se requiere que la consistencia del diámetro del alambre sea alta.

Proceso de preparación y aplicación: El alambre de molibdeno para pulverización por arco suele ser alambre de molibdeno de alta pureza con un diámetro de 1,6-2,0 mm. El proceso de preparación se centra en la precisión dimensional y el acabado de la superficie del alambre para garantizar la estabilidad del arco. El equipo de pulverización está equipado con un sistema de alimentación de doble alambre para controlar con precisión la velocidad de alimentación del alambre.

Escenarios de aplicación:

Recubrimientos anticorrosivos para barcos (por ejemplo, cascos, cubiertas).

Recubrimiento resistente al desgaste para palas de aerogeneradores.

Recubrimiento protector para puentes de acero.

4.3.3 Alambre de molibdeno para pulverización de plasma

La pulverización de plasma utiliza plasma a alta temperatura (hasta 15.000 °C) para derretir el alambre de molibdeno y formar un recubrimiento de alto rendimiento. El alambre de molibdeno para la pulverización de plasma requiere una alta pureza y precisión.

Peculiaridad:

Alta calidad de recubrimiento: recubrimiento denso, baja porosidad, fuerte adherencia.

Proceso complejo: Altos costos de equipo y control preciso de los parámetros del plasma.

Altos requisitos para el alambre de molibdeno: alta pureza y sin defectos en la superficie.

Proceso de preparación y aplicación: El alambre de molibdeno para la pulverización de plasma está hecho de alambre de molibdeno de alta pureza con un diámetro de 1,0-2,0 mm, y la superficie está pulida electroquímicamente. El plasma es generado por un gas inerte (por ejemplo, argón) en el equipo de pulverización, y el alambre de molibdeno se funde en una corriente de plasma a alta temperatura para formar un recubrimiento altamente denso después de la deposición.

Escenarios de aplicación:

Recubrimiento de barrera térmica para álabes de turbinas de motores aeronáuticos.

Recubrimientos conductores para dispositivos semiconductores.

Recubrimiento resistente a la corrosión para reactores de alta temperatura.

4.3.4 Alambre de molibdeno para oxicorte de alta velocidad (HVOF).

La pulverización HVOF deposita un recubrimiento de molibdeno a través de una llama supersónica, que tiene una alta dureza y una fuerte adherencia. El alambre de molibdeno para HVOF debe ser resistente a la inyección a alta temperatura y alta presión.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Peculiaridad:

Rendimiento de recubrimiento ultra alto: la porosidad del recubrimiento es extremadamente baja y la dureza es cercana a la de los recubrimientos cerámicos.

Altos requisitos de equipamiento: se requiere combustible a alta presión y sistemas de control precisos.

El alambre de molibdeno tiene una gran estabilidad: necesita soportar el impacto de la inyección a alta velocidad.

Proceso de preparación y aplicación: La mayoría de los alambres de molibdeno para HVOF son alambres de molibdeno dopados o de alta pureza, y el proceso de preparación optimiza la tenacidad y la calidad de la superficie de los alambres. Los equipos de pulverización utilizan oxígeno y combustible, como el queroseno, para crear una llama supersónica, donde el alambre de molibdeno se derrite a altas temperaturas y se deposita a altas velocidades.

Escenarios de aplicación:

Recubrimiento resistente al desgaste para álabes de turbinas de gas.

Recubrimiento de alta dureza para piezas hidráulicas aeroespaciales.

Recubrimiento resistente a la presión para equipos de aguas profundas.

4.3.5 Alambre de molibdeno para pulverización en frío

La pulverización en frío acelera la deposición de partículas de molibdeno a través de gases de ultra alta velocidad para formar un recubrimiento a bajas temperaturas. El alambre de molibdeno para la pulverización en frío debe ser fino y uniforme.

Peculiaridad:

Proceso a baja temperatura: evita la oxidación y es adecuado para sustratos sensibles al calor.

Fuerte protección del medio ambiente: sin gases de escape, en línea con la fabricación ecológica.

Requisitos especiales para el alambre de molibdeno: se requieren partículas finas o en forma de polvo.

Proceso de preparación y aplicación: El molibdeno para la pulverización en frío debe prepararse mediante una molienda especial o atomización de gas, y el tamaño de partícula se controla a nivel de micras. Los equipos de pulverización utilizan gases a alta presión, como el nitrógeno, para acelerar las partículas que se depositan en la superficie del sustrato para formar una capa densa.

Escenarios de aplicación:

Recubrimientos termoconductores para componentes electrónicos.

Reparación de sustrato de aleación de aluminio.

Recubrimientos biocompatibles para dispositivos médicos.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



CTIA GROUP LTD alambre de pulverización de molibdeno

Capítulo 5 Usos del alambre de pulverización de molibdeno

El alambre de pulverización de molibdeno desempeña un papel insustituible en muchos campos industriales debido a su alto punto de fusión, resistencia a la corrosión y excelentes propiedades mecánicas. Los recubrimientos de molibdeno se depositan en la superficie de los sustratos mediante técnicas de pulverización térmica como la pulverización con llama, la pulverización con plasma, la pulverización por arco y la pulverización con oxicombustible de alta velocidad, que pueden mejorar significativamente la resistencia al desgaste, la resistencia a altas temperaturas y la resistencia a la corrosión de los componentes. Este capítulo discutirá en detalle la amplia gama de aplicaciones del alambre de pulverización de molibdeno en la industria aeroespacial, automotriz, química y energética, electrónica y semiconductores, médica y bioingeniería, y otros campos, demostrando su valor diverso en la industria moderna.

5.1 Ámbito aeroespacial

La industria aeroespacial tiene requisitos extremadamente exigentes para las propiedades de los materiales, y los componentes deben funcionar de manera estable a altas temperaturas, altas presiones y en entornos altamente corrosivos. Debido a su excelente rendimiento a altas temperaturas y resistencia a la oxidación, el alambre de pulverización de molibdeno se usa ampliamente en la preparación de recubrimientos para componentes clave de motores aeronáuticos y naves espaciales. En esta sección se analizarán las aplicaciones específicas del alambre de pulverización de molibdeno en álabes de turbinas y componentes de motores, piezas estructurales de alta temperatura y recubrimientos de barrera térmica, y recubrimientos resistentes al desgaste y anticorrosión para naves espaciales.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

5.1.1 Álabes de turbina y componentes del motor

Los álabes de la turbina de un motor aeronáutico son los componentes principales de un motor aeronáutico y están sujetos a temperaturas, presiones y tensiones mecánicas extremadamente altas. El recubrimiento de molibdeno preparado por alambre de pulverización de molibdeno se ha convertido en una opción ideal para la protección de la superficie de los álabes de las turbinas debido a su alta dureza y resistencia al desgaste. Los recubrimientos de molibdeno se depositan en la superficie de las aleaciones a base de níquel o las cuchillas de titanio mediante pulverización de plasma o pulverización de oxcombustible de alta velocidad (HVOF) para formar una capa protectora resistente que puede resistir eficazmente la erosión de las corrientes de gas a alta temperatura y el desgaste por partículas.

En el entorno operativo de las palas de la turbina, la temperatura puede superar los 1000 °C, y con la rotación y la vibración a alta velocidad, los materiales ordinarios difícilmente pueden soportar condiciones tan duras. La excelente conductividad térmica y la resistencia al choque térmico del recubrimiento de molibdeno le permiten dispersar eficazmente el calor y reducir la concentración de estrés térmico en la superficie de la hoja. Además, la alta dureza del recubrimiento de molibdeno resiste el impacto de partículas sólidas como arena o residuos de combustión, lo que prolonga la vida útil de las cuchillas. En aplicaciones prácticas, los recubrimientos de molibdeno a menudo se combinan con otros materiales, como los recubrimientos de barrera térmica de zirconio, para formar un recubrimiento compuesto que mejora aún más la resistencia a altas temperaturas de las cuchillas.

El alambre de pulverización de molibdeno también se usa ampliamente en otros componentes del motor, como cámaras de combustión y boquillas. El calor extremo y la corrosión química dentro de la cámara de combustión requieren materiales con una excelente resistencia a la oxidación, y los recubrimientos de molibdeno protegen el sustrato de la erosión formando una capa de óxido estable. La flexibilidad del proceso de pulverización permite que el recubrimiento de molibdeno se adapte a geometrías complejas, lo que garantiza una protección total de la cámara de combustión y las boquillas. La aplicación de esta tecnología de recubrimiento mejora significativamente la fiabilidad y los intervalos de mantenimiento de los motores aeronáuticos, proporcionando un importante apoyo para la eficiencia y la seguridad de la industria aeroespacial.

5.1.2 Piezas estructurales de alta temperatura y recubrimientos de barrera térmica

Los componentes estructurales de alta temperatura en los vehículos aeroespaciales, como las toberas de los motores de cohetes, los componentes del extremo caliente y los recintos de las naves espaciales de reentrada, requieren que la integridad estructural se mantenga a temperaturas extremas. Los recubrimientos preparados por alambre de pulverización de molibdeno son materiales protectores ideales para estos componentes debido a su alto punto de fusión y resistencia al choque térmico. El recubrimiento de molibdeno se deposita en la superficie de los compuestos de superaleación o matriz cerámica mediante tecnología de pulverización de plasma para formar una capa protectora densa, que puede resistir eficazmente la oxidación a alta temperatura y el estrés del ciclo térmico.

Los recubrimientos de barrera térmica (TBC) son una tecnología importante en la industria

[Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

aeroespacial para reducir la temperatura de la superficie de los sustratos y prolongar la vida útil de los componentes. Los recubrimientos de molibdeno se utilizan a menudo como capa aglutinante en los sistemas de recubrimiento de barrera térmica para conectar el sustrato a la capa superior de la cerámica (por ejemplo, zirconio). El coeficiente de expansión térmica del recubrimiento de molibdeno se encuentra entre el del sustrato metálico y el recubrimiento cerámico, lo que puede aliviar eficazmente el estrés causado por el desajuste de la expansión térmica y evitar que el recubrimiento se pele. Además, la alta conductividad térmica del recubrimiento de molibdeno ayuda a conducir el calor desde la capa cerámica hasta el sustrato, optimizando el rendimiento del sistema de barrera térmica.

En los componentes del extremo caliente de los transbordadores espaciales o vehículos hipersónicos, los recubrimientos de molibdeno también actúan como antiablación. La ablación se refiere a la pérdida gradual de materiales bajo el impacto de las corrientes de aire a alta temperatura, y los recubrimientos de molibdeno pueden ralentizar la velocidad de ablación y proteger los componentes críticos a través de su alto punto de fusión y estabilidad química. La aplicación de esta tecnología de recubrimiento permite a las naves espaciales realizar misiones más largas en entornos extremos, proporcionando apoyo técnico para la exploración del espacio profundo y el vuelo a alta velocidad.

5.1.3 Recubrimiento resistente al desgaste y anticorrosión para naves espaciales

Las naves espaciales se enfrentan a complejos desafíos ambientales durante el lanzamiento, la operación y la recuperación, incluida la fricción atmosférica, la corrosión química y el desgaste mecánico. Los recubrimientos resistentes a la abrasión y anticorrosión preparados por alambre de pulverización de molibdeno se utilizan ampliamente en la estructura externa y los componentes clave de las naves espaciales, como las antenas de satélite, los componentes del sistema de propulsión y los dispositivos de aterrizaje. Estos recubrimientos se depositan mediante pulverización por arco o tecnología HVOF, que puede mejorar significativamente la durabilidad y fiabilidad de los componentes.

En el exterior de la nave espacial, el recubrimiento de molibdeno es resistente al oxígeno atmosférico y a la corrosión por humedad, especialmente en el entorno del sitio de lanzamiento en climas oceánicos. La alta dureza y el bajo coeficiente de fricción del recubrimiento de molibdeno lo hacen resistente al desgaste por impacto por partículas diminutas, como polvo o partículas de hielo encontradas durante el vuelo a alta velocidad. Además, la inercia química del recubrimiento de molibdeno permite que permanezca estable cuando se expone a combustibles químicos u oxidantes, protegiendo los componentes críticos de la nave espacial de la erosión.

Las propiedades de baja fricción de los recubrimientos de molibdeno son particularmente importantes en las partes móviles de los satélites, como las bisagras de las alas solares o los mecanismos de accionamiento de las antenas. Estos componentes requieren un movimiento de alta precisión en un entorno de vacío, y cualquier fricción o desgaste puede provocar fallos funcionales. El recubrimiento preparado por alambre de pulverización de molibdeno garantiza el funcionamiento estable a largo plazo de estos componentes gracias a su superficie lisa y su excelente resistencia al desgaste. Los avances en la tecnología de recubrimiento de naves espaciales no solo han mejorado

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

el rendimiento de los equipos, sino que también han proporcionado un soporte material más fiable para futuras misiones de exploración del espacio profundo.

5.2 Industria automotriz

La industria automotriz es un área de aplicación importante para el alambre rociador de molibdeno, que se usa ampliamente para mejorar el rendimiento del motor, el sistema de escape y los componentes del sistema de frenos debido a su resistencia al desgaste, resistencia a altas temperaturas y características de baja fricción. Esta sección examina las aplicaciones específicas del alambre rociador de molibdeno en recubrimientos de pistones y bloques de cilindros de motores, recubrimientos de alta temperatura del sistema de escape y recubrimientos de desgaste del sistema de frenos.

5.2.1 Recubrimiento del pistón y del bloque del motor

Los pistones y los bloques de cilindros de los motores de los automóviles son los componentes principales de los automóviles, que deben funcionar en entornos de fricción de alta temperatura, alta presión y alta velocidad. El recubrimiento de molibdeno preparado por alambre de pulverización de molibdeno se convierte en una capa protectora ideal para la superficie del pistón y el cilindro debido a su alta dureza y bajo coeficiente de fricción. Los recubrimientos de molibdeno generalmente se depositan en la superficie de sustratos de aleación de aluminio o hierro fundido mediante técnicas de rociado por arco o rociado con llama para formar una capa protectora resistente que reduce significativamente el desgaste por fricción y mejora la eficiencia y la vida útil del motor.

En la aplicación de anillos de pistón, el recubrimiento de molibdeno puede reducir efectivamente la fricción con la pared del cilindro, reduciendo la pérdida de energía y el consumo de combustible. La estructura porosa del recubrimiento de molibdeno también tiene una cierta capacidad de almacenamiento de aceite, que es capaz de mantener la lubricación durante el funcionamiento y evitar quemaduras causadas por la fricción seca. Además, la resistencia a altas temperaturas del recubrimiento de molibdeno le permite permanecer estable en el entorno de alta temperatura de la cámara de combustión y resistir la corrosión de los productos de combustión. La aplicación de esta tecnología de recubrimiento permite que los motores automotrices modernos funcionen con relaciones de compresión y potencias más altas, al tiempo que mantienen bajos costos de mantenimiento.

El recubrimiento de molibdeno en el interior del bloque de cilindros es igualmente importante. La superficie del bloque de cilindros debe soportar la fricción repetida del anillo del pistón y el impacto del gas a alta temperatura, y es difícil que los materiales ordinarios mantengan el rendimiento durante mucho tiempo. El recubrimiento de molibdeno puede proteger eficazmente la superficie del bloque de cilindros y prolongar su vida útil a través de su alta dureza y resistencia al choque térmico. En algunos vehículos de alto rendimiento, los recubrimientos de molibdeno se utilizan en combinación con otros materiales, como recubrimientos cerámicos o a base de carbono, para formar un recubrimiento compuesto que mejora aún más el rendimiento. El uso generalizado de esta tecnología ha impulsado a la industria automotriz hacia un desarrollo más eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

5.2.2 Recubrimiento resistente a altas temperaturas para el sistema de escape

Los sistemas de escape automotrices operan en entornos de alta temperatura y gases corrosivos y requieren una excelente resistencia al calor y a la corrosión. Debido a su alto punto de fusión y estabilidad química, los recubrimientos de molibdeno preparados por alambre de pulverización de molibdeno se utilizan ampliamente en la protección de superficies de tubos de escape, convertidores catalíticos y silenciadores. Estos recubrimientos se depositan por pulverización de plasma o tecnología HVOF y son resistentes a la erosión y oxidación por los gases de escape a alta temperatura.

La temperatura de funcionamiento del sistema de escape puede ser tan alta como más de 800 °C, especialmente en motores turboalimentados, donde la temperatura de los gases de escape es aún más alta. Los recubrimientos de molibdeno evitan que los sustratos, como el acero inoxidable o el acero dulce, se oxiden o se desnaturalicen a altas temperaturas al formar una capa de óxido estable. Además, la resistencia al choque térmico del recubrimiento de molibdeno le permite soportar frecuentes ciclos de calor y frío, evitando grietas o desconchados causados por los cambios de temperatura. En los convertidores catalíticos, el recubrimiento de molibdeno también protege el catalizador de metales preciosos en su interior, prolongando su vida útil y mejorando la eficiencia del tratamiento de los gases de escape.

Las propiedades de baja fricción de los recubrimientos de molibdeno también juegan un papel importante en ciertas partes del sistema de escape, como válvulas o conexiones. Estos componentes deben mantener un movimiento flexible a altas temperaturas, y la aplicación de recubrimientos de molibdeno puede reducir el desgaste por fricción y mejorar la confiabilidad del sistema. A través de la tecnología de alambre de pulverización de molibdeno, el sistema de escape del automóvil puede mantener un rendimiento estable a largo plazo en entornos hostiles, proporcionando un apoyo importante para el rendimiento ambiental y la durabilidad del vehículo.

5.2.3 Recubrimiento resistente al desgaste para el sistema de frenos

El sistema de frenos es el corazón de la seguridad automotriz, y los discos y pastillas de freno están sujetos a altos niveles de fricción y cargas térmicas. El recubrimiento de molibdeno preparado por alambre de pulverización de molibdeno es ampliamente utilizado en la superficie de los discos de freno debido a su alta dureza y resistencia al desgaste, lo que mejora su capacidad para resistir el desgaste y la descomposición térmica. Los recubrimientos de molibdeno se depositan mediante HVOF o tecnología de pulverización por arco para formar una capa protectora resistente que mejora significativamente el rendimiento y la vida útil del sistema de frenos.

Durante el frenado, la fricción a alta velocidad entre el disco de freno y las pastillas de freno genera mucho calor, lo que resulta en un aumento brusco de la temperatura de la superficie. La alta conductividad térmica y la resistencia al choque térmico del recubrimiento de molibdeno pueden dispersar eficazmente el calor y evitar que el disco de freno se sobrecaliente y se deforme o agriete. Además, el bajo coeficiente de fricción del recubrimiento de molibdeno ayuda a reducir la pérdida de energía durante el frenado y mejora la eficiencia de frenado. En automóviles deportivos de alto rendimiento o vehículos comerciales pesados, los recubrimientos de molibdeno también resisten el

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

desgaste causado por el frenado frecuente, lo que prolonga la vida útil de los discos de freno.

La aplicación de recubrimiento de molibdeno para pastillas de freno es igualmente importante. El recubrimiento de molibdeno puede mejorar la resistencia al desgaste y la resistencia a altas temperaturas de las pastillas de freno, reducir la generación de partículas de desgaste y reducir el impacto ambiental del polvo de frenos. En el campo de los vehículos eléctricos, la aplicación de recubrimientos de molibdeno es particularmente destacada, porque el sistema de frenado de los vehículos eléctricos requiere una mayor durabilidad para adaptarse al modo de trabajo del frenado regenerativo. A través de la pulverización de la tecnología de alambre de molibdeno, el rendimiento del sistema de frenos se ha mejorado significativamente, proporcionando una garantía para la seguridad y la protección del medio ambiente del automóvil.

5.3 Industrias químicas y energéticas

Las industrias químicas y energéticas involucran una variedad de entornos extremos, incluidos productos químicos altamente corrosivos, altas temperaturas y altas presiones, y los recubrimientos preparados con alambre de pulverización de molibdeno se han convertido en materiales importantes en estos campos debido a su resistencia a la corrosión y a altas temperaturas. Esta sección examina la aplicación de alambre de molibdeno recubierto por pulverización en recubrimientos resistentes a la corrosión para tuberías y válvulas, reactores e intercambiadores de calor, y equipos solares y eólicos.

5.3.1 Tuberías y válvulas resistentes a la corrosión

Las tuberías y válvulas en la industria química a menudo están expuestas a ácidos fuertes, álcalis u otros medios corrosivos, y los materiales ordinarios son difíciles de soportar esta erosión durante mucho tiempo. Los recubrimientos de molibdeno preparados por alambre de pulverización de molibdeno se utilizan ampliamente en la protección de superficies de tuberías y válvulas debido a su excelente estabilidad química y resistencia a la corrosión. Estos recubrimientos se depositan mediante pulverización de plasma o tecnología de pulverización en frío para formar una densa capa protectora que aísla eficazmente los medios corrosivos.

En la industria petroquímica, las tuberías y válvulas deben resistir compuestos que contienen azufre, cloruros y otros gases corrosivos. La inercia química de los recubrimientos de molibdeno permite que permanezcan estables en estos entornos, evitando la corrosión y las picaduras de sustratos como el acero al carbono o el acero inoxidable. Además, la alta dureza del recubrimiento de molibdeno resiste la erosión y el desgaste de las partículas sólidas en el medio que fluye, lo que prolonga la vida útil de las tuberías y válvulas. En las plataformas de petróleo y gas en alta mar, la aplicación de recubrimientos de molibdeno es particularmente importante porque puede resistir la corrosión del agua de mar y la niebla salina, lo que garantiza la confiabilidad del equipo en entornos hostiles.

Las partes móviles de las válvulas, como carretes y asientos, requieren baja fricción y alta resistencia al desgaste, y la aplicación de recubrimientos de molibdeno puede mejorar significativamente el rendimiento de estos componentes. La superficie lisa del recubrimiento de molibdeno y el bajo coeficiente de fricción reducen la resistencia durante el funcionamiento de la válvula, mejorando la

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

flexibilidad y la estanqueidad del interruptor. Con el uso de la tecnología de pulverización de alambre de molibdeno, se amplían los intervalos de mantenimiento de las tuberías y válvulas químicas, lo que reduce los costos operativos y el tiempo de inactividad.

5.3.2 Recubrimientos de reactores e intercambiadores de calor

Los reactores químicos y los intercambiadores de calor son el equipo central en la producción química, que debe funcionar en entornos corrosivos y de alta temperatura. El recubrimiento de molibdeno preparado por alambre de pulverización de molibdeno es un material protector ideal para estos dispositivos debido a su resistencia a altas temperaturas y resistencia a la corrosión. El recubrimiento de molibdeno se deposita mediante tecnología HVOF o de pulverización de plasma, que es capaz de formar una capa protectora resistente que protege las superficies internas de los reactores e intercambiadores de calor.

Los reactores a menudo involucran reacciones químicas complejas, lo que resulta en gases a alta temperatura y líquidos corrosivos que imponen demandas extremadamente altas a los materiales. El alto punto de fusión y la estabilidad química de los recubrimientos de molibdeno les permiten resistir el ataque de medios ácidos o alcalinos mientras mantienen la integridad estructural a altas temperaturas. En los intercambiadores de calor, la excelente conductividad térmica de los recubrimientos de molibdeno ayuda a mejorar la eficiencia del intercambio de calor, mientras que su resistencia al choque térmico puede soportar cambios frecuentes de temperatura y evitar el agrietamiento o la descamación del recubrimiento.

En la industria nuclear, los recubrimientos de molibdeno se utilizan para proteger los haces de tubos de los intercambiadores de calor contra la corrosión de los medios radiactivos. La sección transversal de baja absorción de neutrones del recubrimiento de molibdeno le da una ventaja única en el entorno de reacción nuclear, proporcionando protección sin comprometer la eficiencia de la reacción. A través de la pulverización de la tecnología de alambre de molibdeno, se ha mejorado significativamente el rendimiento y la seguridad de los reactores e intercambiadores de calor, lo que garantiza el funcionamiento estable de las industrias química y energética.

5.3.3 Recubrimientos para equipos de energía solar y eólica

El rápido desarrollo de equipos de energía renovable ha planteado nuevos requisitos para las propiedades de los materiales, y los recubrimientos preparados con alambre de pulverización de molibdeno han desempeñado un papel importante en los equipos de energía solar y eólica. Estos recubrimientos aumentan la eficiencia y la longevidad de los equipos a través de su resistencia a la abrasión, resistencia a la corrosión y alta conductividad térmica.

En los sistemas de generación de energía solar térmica, los recubrimientos de molibdeno se aplican a la protección de la superficie de los tubos colectores. La alta conductividad térmica y la resistencia al choque térmico del recubrimiento de molibdeno garantizan una transferencia de calor eficiente al tiempo que evitan los daños causados por la oxidación a alta temperatura y los ciclos térmicos. En los equipos de energía eólica, los recubrimientos de molibdeno se utilizan para proteger las palas y los cojinetes de las turbinas eólicas. Las turbinas eólicas operan en un entorno natural volátil que

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

está sujeto a arena, humedad y niebla salina, y la resistencia al desgaste y la corrosión de los recubrimientos de molibdeno puede prolongar eficazmente la vida útil de las palas y los rodamientos.

Las propiedades de baja fricción de los recubrimientos de molibdeno son particularmente importantes en el sistema de transmisión de las turbinas eólicas, ya que reducen el desgaste de los engranajes y cojinetes y mejoran la eficiencia de conversión de energía. La tecnología de pulverización en frío también se utiliza cada vez más en equipos de energía renovable, y sus propiedades a baja temperatura son adecuadas para la preparación de recubrimientos de molibdeno para sustratos compuestos o de aleaciones ligeras para evitar daños térmicos. La confiabilidad y eficiencia de los equipos de energía solar y eólica se han mejorado significativamente mediante la aplicación de la tecnología de pulverización de alambre de molibdeno, que brinda apoyo técnico para la popularización de la energía renovable.

5.4 Industria electrónica y de semiconductores

La industria electrónica y de semiconductores tiene requisitos extremadamente altos para la pureza, conductividad y estabilidad térmica de los materiales, y el alambre de pulverización de molibdeno se ha convertido en un material importante en este campo debido a su alta pureza y excelentes propiedades físicas. Esta sección discutirá la aplicación de alambre de molibdeno recubierto por aerosol en alambre calefactor para recubrimiento al vacío, cables y electrodos semiconductores, y recubrimiento de alambre de molibdeno para deposición de película delgada.

5.4.1 Alambre calefactor para recubrimiento al vacío

El recubrimiento al vacío es una técnica de preparación de película delgada comúnmente utilizada en las industrias electrónica y de semiconductores para producir dispositivos como pantallas, sensores y circuitos integrados. El alambre rociador de molibdeno es ampliamente utilizado como alambre calefactor para equipos de recubrimiento al vacío debido a su alto punto de fusión y buena conductividad eléctrica. El alambre de molibdeno se calienta por resistencia para crear altas temperaturas, vaporizando materiales evaporados como el aluminio o el cobre y depositándolos en la superficie del sustrato para formar una película uniforme.

La alta pureza y estabilidad química del alambre de molibdeno le permiten funcionar en un entorno de vacío durante largos períodos de tiempo y evitar la contaminación debido a la oxidación o volatilización de las impurezas. El alambre de pulverización de molibdeno mejora aún más la resistencia a la oxidación a través de la modificación de la superficie (por ejemplo, siliconización) y prolonga la vida útil del alambre calefactor. Además, la resistencia mecánica y la resistencia al choque térmico del alambre de molibdeno le permiten soportar ciclos frecuentes de calentamiento y enfriamiento y mantener un rendimiento estable. En los equipos de recubrimiento de alta precisión, la uniformidad y el acabado superficial del alambre de molibdeno son críticos para la calidad de la película, y el proceso de pulverización garantiza estas propiedades del alambre.

5.4.2 Cables y electrodos semiconductores

Los cables y electrodos en dispositivos semiconductores requieren alta conductividad y resistencia a altas temperaturas, y los recubrimientos de molibdeno preparados por alambres de pulverización de molibdeno se usan ampliamente para estos componentes debido a sus excelentes propiedades

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

eléctricas y mecánicas. El recubrimiento de molibdeno se deposita en el marco de plomo o en la superficie del electrodo mediante tecnología de pulverización de plasma o pulverización en frío para formar una capa protectora altamente conductora y resistente a la corrosión.

En el embalaje de semiconductores, el marco de plomo se somete a soldadura a alta temperatura y limpieza química, y la inercia química y la alta dureza del recubrimiento de molibdeno protegen el marco de daños. En los dispositivos semiconductores de potencia, los recubrimientos de molibdeno se utilizan en la superficie de los electrodos para mejorar su conductividad y resistencia al desgaste, y garantizar un funcionamiento estable del dispositivo a altas corrientes y voltajes. El bajo coeficiente de expansión térmica del recubrimiento de molibdeno le da una buena combinación con los materiales a base de silicio, lo que reduce el agrietamiento causado por el estrés térmico.

5.4.3 Recubrimiento de alambre de molibdeno para la deposición de película delgada

La deposición de película delgada es una tecnología clave en la industria de los semiconductores para la preparación de películas delgadas funcionales, como capas conductoras, capas aislantes y capas de barrera. Debido a su alta pureza y uniformidad, el alambre de molibdeno recubierto por pulverización se utiliza como objetivo o material auxiliar para la deposición de películas delgadas. El recubrimiento de molibdeno se deposita en la superficie del sustrato mediante tecnología de pulverización en frío o pulverización de plasma para formar una película altamente densa adecuada para procesos de deposición física de vapor (PVD) o deposición química de vapor (CVD).

La excelente conductividad eléctrica y la estabilidad química del recubrimiento de molibdeno le permiten proporcionar un rendimiento estable en la deposición de película delgada, evitando la degradación del material objetivo a altas temperaturas o gases reactivos. En la fabricación de pantallas, los recubrimientos de molibdeno se utilizan para crear películas conductoras transparentes (como el electrodo trasero de óxido de indio y estaño) para mejorar la conductividad y la durabilidad de la película. La eficiencia y la calidad de la deposición de película delgada se han mejorado significativamente a través de la tecnología de alambre de pulverización de molibdeno, lo que respalda la innovación en las industrias electrónica y de semiconductores.

5.5 Medicina y bioingeniería

Los campos de la medicina y la bioingeniería tienen requisitos extremadamente altos para la biocompatibilidad, la resistencia a la corrosión y el rendimiento a altas temperaturas de los materiales, y el recubrimiento de molibdeno preparado por alambre de pulverización de molibdeno es ampliamente utilizado en dispositivos médicos y equipos de bioingeniería con su excelente rendimiento. Esta sección explorará la aplicación del alambre de pulverización de molibdeno en el recubrimiento de dispositivos médicos, elementos calefactores y dispositivos médicos resistentes a la corrosión.

5.5.1 Elementos calefactores para productos sanitarios

Los elementos calefactores de los dispositivos médicos, como los calentadores de bisturí, los equipos dentales y los instrumentos analíticos de laboratorio, deben ser estables y fiables a altas temperaturas. El alambre de molibdeno recubierto por pulverización, con su alto punto de fusión y

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

buena conductividad eléctrica, se utiliza como material para estos elementos calefactores. El alambre de molibdeno se calienta por resistencia para generar altas temperaturas y se utiliza para cortar, cauterizar o calentar muestras, y su alta pureza y estabilidad química garantizan la seguridad en entornos médicos.

En equipos dentales, el alambre de molibdeno se utiliza como elemento calefactor en un horno de sinterización a alta temperatura para hacer coronas o implantes cerámicos. La estabilidad a altas temperaturas y la resistencia a la oxidación del alambre de molibdeno le permiten mantener su rendimiento durante múltiples ciclos de calentamiento, evitando la contaminación causada por la degradación del material. En los instrumentos analíticos de laboratorio, el alambre de molibdeno se utiliza como elemento calefactor en espectrómetros de masas o equipos de análisis térmico para garantizar un calentamiento preciso de las muestras y resultados de análisis fiables.

5.5.2 Recubrimientos resistentes a la corrosión para dispositivos médicos

Los dispositivos médicos, como las herramientas quirúrgicas, los implantes y los dispositivos de diagnóstico, deben permanecer resistentes a la corrosión en presencia de fluidos corporales o desinfectantes. Los recubrimientos de molibdeno preparados por alambre de pulverización de molibdeno se utilizan ampliamente para la protección de la superficie de estos dispositivos debido a su inercia química y alta dureza. Los recubrimientos de molibdeno se depositan mediante la tecnología de pulverización en frío o plasma para formar una densa capa protectora que evita la corrosión o el desgaste en la superficie del equipo.

En los implantes ortopédicos, como las articulaciones artificiales o las uñas óseas, los recubrimientos de molibdeno pueden mejorar la resistencia a la corrosión y la biocompatibilidad de sustratos como las aleaciones de titanio, reduciendo la inflamación causada por las reacciones del implante a los fluidos corporales. En las herramientas quirúrgicas, la baja fricción y la alta dureza del recubrimiento de molibdeno pueden reducir la resistencia durante el corte, mejorando la durabilidad y precisión de la herramienta. A través de la tecnología de pulverización de alambre de molibdeno, el rendimiento y la seguridad de los dispositivos médicos se han mejorado significativamente, proporcionando una garantía para el tratamiento de los pacientes.

5.6 Otros ámbitos de aplicación

El uso de alambre de pulverización de molibdeno no se limita a las áreas principales mencionadas anteriormente, sino que también desempeña un papel importante en la ingeniería marina y en alta mar, maquinaria de construcción y equipos pesados, y estufas de alta temperatura y equipos de tratamiento térmico. En esta sección se explorarán aplicaciones específicas en estas áreas.

5.6.1 Recubrimientos anticorrosivos para buques e ingeniería en alta mar

La corrosión es un desafío importante para los buques y equipos en alta mar que operan en agua de mar, niebla salina y ambientes húmedos. El recubrimiento de molibdeno preparado por alambre de pulverización de molibdeno es ampliamente utilizado en la protección de tuberías de hélices de barcos, ejes de timones y plataformas en alta mar debido a su excelente resistencia a la corrosión y alta dureza. El recubrimiento de molibdeno se deposita mediante tecnología HVOF o de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

pulverización por arco, que puede resistir eficazmente la corrosión galvánica del agua de mar y la erosión y el desgaste de las partículas sólidas.

En las plataformas marinas, los recubrimientos de molibdeno se utilizan para proteger las tuberías y válvulas de perforación, lo que prolonga su vida útil en entornos hostiles. Las propiedades de baja fricción del recubrimiento de molibdeno también mejoran el rendimiento de las piezas móviles, como los sistemas hidráulicos, lo que reduce la necesidad de mantenimiento. La confiabilidad y seguridad de los equipos marinos y en alta mar se han mejorado significativamente mediante la aplicación de la tecnología de pulverización de alambre de molibdeno.

5.6.2 Recubrimientos resistentes al desgaste para maquinaria de construcción y equipos pesados

La maquinaria de construcción y el equipo pesado, como los cucharones de las excavadoras, las cuchillas de las excavadoras y los martillos de las trituradoras, están sujetos a altos niveles de desgaste e impacto. El recubrimiento de molibdeno preparado por alambre de pulverización de molibdeno es un material protector ideal para estos componentes debido a su alta dureza y resistencia al desgaste. El recubrimiento de molibdeno se deposita a través de la tecnología HVOF para formar una capa protectora resistente contra el impacto de arena, roca y otros abrasivos.

En equipos pesados, las propiedades de baja fricción de los recubrimientos de molibdeno reducen el desgaste de componente a componente y mejoran la eficiencia mecánica. Por ejemplo, el recubrimiento de molibdeno del cucharón de una excavadora prolonga su vida útil en suelos rocosos, lo que reduce la frecuencia de reemplazo y los costos de mantenimiento. A través de la aplicación de la tecnología de alambre de molibdeno, el rendimiento y la durabilidad de la maquinaria de construcción se han mejorado significativamente, lo que respalda la eficiencia de los proyectos de ingeniería.

5.6.3 Estufas de alta temperatura y equipos de tratamiento térmico

Las estufas de alta temperatura y los equipos de tratamiento térmico deben funcionar a temperaturas extremadamente altas, y los materiales deben tener una excelente resistencia a las altas temperaturas y a la oxidación. Debido a su alto punto de fusión y estabilidad química, el alambre de molibdeno recubierto por pulverización se utiliza como elemento calefactor y recubrimiento protector para estufas de alta temperatura. El alambre de molibdeno se calienta por resistencia para generar altas temperaturas y se utiliza en el tratamiento térmico de metales, sinterización de cerámica y fusión de vidrio, y su alta pureza y resistencia a la oxidación garantiza un rendimiento estable a largo plazo.

En los equipos de tratamiento térmico, los recubrimientos de molibdeno se utilizan para proteger las paredes internas y las estructuras de soporte de los hornos contra la oxidación a alta temperatura y el ataque químico. La alta conductividad térmica y la resistencia al choque térmico del recubrimiento de molibdeno le permiten soportar cambios frecuentes de temperatura y evitar grietas o desconchados. A través de la tecnología de alambre de pulverización de molibdeno, el rendimiento y la vida útil de las estufas de alta temperatura se han mejorado significativamente, lo que garantiza la estabilidad y la eficiencia de la producción industrial.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



CTIA GROUP LTD alambre de pulverización de molibdeno

Capítulo 6 Equipo de producción para alambre de pulverización de molibdeno

El proceso de producción de alambre de pulverización de molibdeno implica muchos pasos complejos, desde el procesamiento de la materia prima hasta la deposición final del recubrimiento, cada uno de los cuales requiere un equipo especializado para garantizar la precisión del proceso y la estabilidad de la calidad del producto. Este capítulo discutirá en detalle los diversos tipos de equipos necesarios para la producción de alambre de pulverización de molibdeno, incluidos los equipos de procesamiento de materias primas, los equipos de producción de alambre de molibdeno, los equipos de pulverización, los equipos auxiliares y de posprocesamiento, y los equipos de automatización e inteligentes. Juntas, estas máquinas forman la base técnica para la producción de alambres de molibdeno recubiertos y proporcionan un soporte fiable para aplicaciones en los sectores aeroespacial, automotriz, químico y energético.

6.1 Equipo de procesamiento de materias primas

El procesamiento de la materia prima es el primer paso en la producción de alambre de pulverización de molibdeno, que implica un complejo proceso de conversión de mineral de molibdeno a polvo de molibdeno de alta pureza. El equipo en esta etapa debe tener alta precisión y estrictas capacidades de control ambiental para garantizar la alta pureza y consistencia del polvo de molibdeno. Esta sección discutirá el equipo de preparación y reducción de polvo de molibdeno, así como el horno de sinterización y el equipo de forja.

6.1.1 Equipos de preparación y reducción de polvo de molibdeno

El equipo de preparación y reducción de polvo de molibdeno es el núcleo del procesamiento de

[Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

materias primas, que se utiliza para convertir el óxido de molibdeno (MoO_3) después de la purificación del mineral de molibdeno en polvo de molibdeno metálico de alta pureza. Estos incluyen trituradoras, molinos, equipos de flotación y hornos de reducción de hidrógeno, cada uno de los cuales desempeña un papel específico en la cadena de proceso.

Las trituradoras y molinos se utilizan para procesar mineral de molibdeno a partir de grandes trozos de mineral en partículas finas. Las trituradoras de mandíbula y las trituradoras de cono son equipos de trituración primarios de uso común que son capaces de triturar mineral en partículas más pequeñas y son adecuadas para el tratamiento de molienda posterior. La máquina de molienda (como un molino de bolas o un molino de barras) muele aún más el mineral hasta convertirlo en un polvo fino a través del medio de molienda en el cilindro giratorio, que es float = "; Sistema: Seleccione Separación para prepararse. Estos equipos deben estar equipados con sistemas eficientes de recolección de polvo para reducir la contaminación por polvo y garantizar un tamaño de partícula uniforme.

El equipo de flotación es la clave del proceso de beneficio y se utiliza para separar la molibdenita (MoS_2) del mineral finamente molido. La celda de flotación generalmente consta de múltiples tanques de flotación, que se llenan con lodo y aire, que se combinan con colectores y agentes espumantes para formar espuma y separar las partículas de molibdenita de las impurezas. El equipo de flotación moderno adopta un sistema de control automático, que puede ajustar la cantidad de agente agregado y el flujo de burbujas en tiempo real, y mejorar la eficiencia de beneficio y la pureza del concentrado. El concentrado de molibdeno de flotación se filtra y se seca en preparación para el tostado posterior.

El tostador se utiliza para convertir la molibdenita en óxido de molibdeno y es un paso importante en la preparación del polvo de molibdeno. Los hornos rotatorios y los hornos multicámara son equipos de tostado comúnmente utilizados para eliminar el azufre de la molibdenita a través de la oxidación a alta temperatura para producir polvo de óxido de molibdeno. Estas estufas deben estar equipadas con sistemas precisos de control de temperatura y unidades de tratamiento de gases de escape para garantizar la eliminación completa del azufre y reducir las emisiones de dióxido de azufre. El óxido de molibdeno tostado se purifica aún más mediante un equipo de lixiviación de amoníaco para eliminar las trazas de impurezas y formar una solución de molibdato de amonio de alta pureza.

El horno de reducción de hidrógeno es el equipo central para la producción de polvo de molibdeno, que se utiliza para reducir el óxido de molibdeno o el molibdato de amonio a polvo de molibdeno metálico. El proceso de reducción generalmente se divide en dos etapas: la primera etapa reduce el óxido de molibdeno a dióxido de molibdeno (MoO_2) a temperaturas más bajas, y la segunda etapa reduce aún más el metal de molibdeno a metal a temperaturas más altas. Estos hornos están disponibles en un diseño tubular o de empuje, equipados con un sistema de suministro de hidrógeno de alta pureza y un control preciso de la temperatura para garantizar la estabilidad del proceso de reducción. El material del cuerpo del horno suele ser una aleación de molibdeno o cuarzo que es resistente a las altas temperaturas para evitar la contaminación. El polvo de molibdeno reducido se

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

clasifica mediante un clasificador de aire o una criba vibratoria para garantizar que el tamaño y la distribución de las partículas satisfagan las necesidades del proceso de trefilado.

El funcionamiento coordinado de estos equipos requiere un entorno de producción altamente limpio para evitar la contaminación externa del polvo de molibdeno. El equipo moderno de preparación de polvo de molibdeno también integra un sistema de monitoreo en línea, que puede detectar la composición química y la distribución del tamaño de partícula del polvo en tiempo real para garantizar la consistencia de la calidad del producto.

6.1.2 Hornos de sinterización y equipos de forja

Los hornos de sinterización y los equipos de forja se utilizan para prensar el polvo de molibdeno en una pieza en bruto densa y procesarlo posteriormente en varillas de molibdeno adecuadas para el trefilado. El horno de sinterización es el equipo central del proceso de pulvimetalurgia, y las partículas de polvo de molibdeno se combinan en una estructura metálica fuerte mediante un tratamiento a alta temperatura. El equipo de forja optimiza la microestructura de la pieza en bruto a través de la deformación mecánica para mejorar su resistencia y ductilidad.

Los hornos de sinterización suelen utilizar vacío o hidrógeno para proteger la atmósfera de la oxidación del molibdeno a altas temperaturas. Los hornos de sinterización al vacío son adecuados para la producción de piezas en bruto de molibdeno de alta pureza mediante aspiración para eliminar el oxígeno y la humedad del horno. El horno de sinterización de hidrógeno crea una atmósfera reductora mediante el suministro continuo de hidrógeno de alta pureza, que no solo evita la oxidación, sino que también limpia las trazas de óxidos en la superficie de la pieza en bruto. Los hornos de sinterización modernos están equipados con zonas de calentamiento de varias etapas y sistemas de control de temperatura precisos, que pueden ajustar la temperatura de sinterización y el tiempo de retención de acuerdo con las características del polvo de molibdeno, y optimizar la densidad y la estructura del grano de la pieza en bruto. Algunos hornos de sinterización avanzados también integran sistemas automatizados de carga y descarga para mejorar la eficiencia de la producción.

El equipo de forja incluye una máquina de forja en caliente y un tren de laminación en caliente para procesar la palanquilla de molibdeno sinterizado en una barra de molibdeno alargada. La máquina de forja en caliente utiliza martilleo hidráulico o mecánico para deformar la pieza en bruto a altas temperaturas, refinar los granos y eliminar defectos internos. El tren de laminación en caliente reduce gradualmente el diámetro de la palanquilla a través de una serie de rodillos para producir una varilla de molibdeno uniforme. Estos dispositivos deben estar equipados con calefacción a alta temperatura para mantener la ductilidad del molibdeno, así como con un sistema de atmósfera protectora para evitar la oxidación. El proceso de forjado y laminado requiere un control preciso de la tasa de deformación y la temperatura para evitar el agrietamiento de la pieza en bruto o defectos superficiales.

La sinergia entre el horno de sinterización y el equipo de forja proporciona una materia prima de alta calidad para la producción de alambre de molibdeno. A través del control digital y el monitoreo

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

en tiempo real, los equipos modernos pueden mejorar significativamente la eficiencia de la producción y la consistencia del producto, sentando una base sólida para el proceso de dibujo posterior.

6.2 Equipos de producción de alambre de molibdeno

La producción de alambre de molibdeno es una etapa crítica en el procesamiento de varillas de molibdeno en filamentos, que implica procesos como el trefilado, el recocido y el tratamiento de superficies. Estos procesos requieren equipos de alta precisión para superar las propiedades duras y quebradizas del molibdeno, lo que garantiza la precisión dimensional y la calidad de la superficie del alambre. Esta sección discutirá las máquinas y matrices de trefilado, los hornos de recocido y el equipo de tratamiento térmico, y el equipo de limpieza y pulido de superficies.

6.2.1 Trefiladoras y matrices

La máquina trefiladora es el equipo central para la producción de alambre de molibdeno, que se utiliza para estirar la varilla de molibdeno en un filamento a través de un molde. La máquina de trefilado se divide en máquina de trefilado monomodo y máquina de trefilado continuo multimodo, cada una con sus propios escenarios aplicables. La máquina trefiladora de un solo troquel es adecuada para la producción de bajo volumen y alta precisión, está equipada con un solo molde y cada dibujo se completa mediante operación manual o semiautomática. La máquina de trefilado continuo multimodo es adecuada para la producción a gran escala, equipada con múltiples matrices y un dispositivo de tracción, que puede estirar continuamente la varilla de molibdeno, mejorando significativamente la eficiencia.

El componente central de la máquina de trefilado es el troquel, que generalmente está hecho de carburo de tungsteno o diamante policristalino, que tiene una dureza y resistencia al desgaste extremadamente altas. El diseño de apertura del troquel debe coincidir con precisión con los requisitos de dibujo, y la secuencia de disminución de apertura se calcula científicamente para garantizar la deformación uniforme del alambre. El sistema de lubricación es una parte importante de la máquina de trefilado, al rociar emulsión de grafito o lubricante de disulfuro de molibdeno, se reduce la fricción entre el molde y el alambre de molibdeno, se prolonga la vida útil del troquel y se mejora la calidad de la superficie del alambre. Las máquinas modernas de trefilado también están equipadas con un sistema de control de tensión y enfriamiento para evitar que el alambre se rompa o se sobrecaliente durante el proceso de trefilado.

La fabricación y el mantenimiento del molde es la clave del proceso de embutición. Los moldes de alta calidad deben pulirse e inspeccionarse regularmente para garantizar la precisión de la apertura y el acabado de la superficie. Algunas máquinas trefiladoras avanzadas integran un sistema de inspección en línea, que puede monitorear el diámetro del alambre y los defectos de la superficie en tiempo real, y ajustar los parámetros de trefilado a tiempo. Este diseño de equipo de alta precisión garantiza la consistencia dimensional y las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno, proporcionando un alambre de alta calidad para el proceso de pulverización.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 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- 2024V
sales@chinatungsten.com

6.2.2 Hornos de recocido y equipos de tratamiento térmico

Los hornos de recocido y los equipos de tratamiento térmico se utilizan para eliminar las tensiones internas introducidas durante el proceso de trefilado, restaurar la estructura cristalina del alambre de molibdeno y mejorar su ductilidad y tenacidad. Estos dispositivos deben funcionar en vacío o en atmósfera protectora para evitar la oxidación de la superficie del alambre de molibdeno.

Los hornos de recocido al vacío son adecuados para la producción de alambre de molibdeno de alta pureza mediante aspiración para eliminar el oxígeno del horno. El horno está equipado con un elemento calefactor de alta temperatura (por ejemplo, alambre calefactor de molibdeno o tungsteno) que permite un control preciso de la temperatura y la tasa de aceleración. El horno de recocido de hidrógeno utiliza hidrógeno de alta pureza para crear una atmósfera reductora, que no solo evita la oxidación, sino que también limpia las trazas de óxidos en la superficie del alambre. Los hornos de recocido modernos utilizan un diseño de calentamiento de múltiples etapas para optimizar la microestructura del alambre de molibdeno a través del calentamiento progresivo para evitar granos de gran tamaño o arrastre de tensión.

El equipo de tratamiento térmico también incluye un sistema de enfriamiento para controlar la velocidad de enfriamiento después del recocido. El enfriamiento rápido puede conducir a la reacumulación de estrés, mientras que un enfriamiento demasiado lento puede afectar la productividad. Algunos hornos de recocido avanzados están equipados con sistemas automatizados de carga y descarga, que son capaces de procesar continuamente múltiples rollos de alambre de molibdeno, mejorando la eficiencia de la producción. El horno de recocido también se diseñó teniendo en cuenta la eficiencia energética, reduciendo la pérdida de calor a través de sistemas eficientes de aislamiento y recuperación, en línea con los requisitos de la fabricación ecológica.

6.2.3 Equipos de limpieza y pulido de superficies

El equipo de limpieza y pulido de superficies se utiliza para eliminar lubricantes, óxidos y otros contaminantes de la superficie del alambre de molibdeno, lo que garantiza una excelente calidad de la superficie durante el proceso de recubrimiento. Estos incluyen tanques de limpieza química, limpiadores ultrasónicos y unidades de pulido.

Los baños de limpieza química utilizan soluciones ácidas o alcalinas suaves, como ácido clorhídrico diluido o hidróxido de sodio, para eliminar las capas de óxido y los residuos orgánicos de la superficie de los cables de molibdeno. El tanque de limpieza generalmente está equipado con un sistema de filtración circulante para garantizar la pureza de la solución de limpieza y evitar la contaminación secundaria. Después de la limpieza, el alambre de molibdeno se limpia a fondo a través del tanque de enjuague con agua desionizada para evitar residuos químicos que afecten el efecto de pulverización.

Los limpiadores ultrasónicos utilizan ondas sonoras de alta frecuencia para crear pequeñas burbujas en los líquidos y eliminar las partículas de tamaño micrométrico y las manchas de aceite por el impacto del estallido de las burbujas. Esta máquina es especialmente adecuada para la manipulación de pequeños hilos de molibdeno y es capaz de penetrar en las depresiones microscópicas de la

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

superficie del filamento para garantizar una limpieza completa. La frecuencia y la potencia del limpiador ultrasónico deben ajustarse de acuerdo con el tamaño del cable para evitar dañar la superficie.

El equipo de pulido incluye una máquina pulidora mecánica y un dispositivo de pulido electroquímico. Las pulidoras mecánicas utilizan abrasivos finos, como alúmina o polvo de diamante, para pulir la superficie del alambre de molibdeno mediante cepillos giratorios o correas abrasivas para lograr un efecto de espejo. El dispositivo de pulido electroquímico disuelve selectivamente las protuberancias microscópicas en la superficie del alambre a través de la electrólisis para formar una superficie lisa. Estos dispositivos pueden mejorar significativamente el acabado de la superficie del alambre de molibdeno, reducir las salpicaduras de gotas fundidas durante el proceso de pulverización y mejorar la calidad del recubrimiento.

6.3 Equipo de pulverización

El equipo de pulverización es el corazón de la producción de alambre de pulverización de molibdeno, que se utiliza para derretir y depositar alambre de molibdeno sobre la superficie del sustrato para formar una capa protectora. Estos incluyen sistemas de pulverización de llama, equipos de pulverización de plasma, unidades de pulverización por arco y equipos de pulverización de oxidante (HVOF) de alta velocidad, cada uno para diferentes aplicaciones y requisitos de recubrimiento.

6.3.1 Sistemas de pulverización de llama

El sistema de pulverización de llama es una de las primeras tecnologías de pulverización térmica, que utiliza una llama de oxígeno-acetileno para calentar el alambre de molibdeno, lo que hace que se derrita o semiderrita y lo rocíe sobre la superficie del sustrato con aire comprimido. El sistema de pulverización de llama consta de una pistola pulverizadora, un dispositivo de alimentación de alambre, un sistema de suministro de gas y una unidad de control.

La pistola rociadora es el componente central del sistema de pulverización de llama, equipada con una cámara de combustión y boquillas que crean una llama a alta temperatura y controlan la dirección de las gotas. El dispositivo de alimentación de alambre alimenta el alambre de molibdeno en la pistola rociadora a una velocidad constante a través de un control preciso del motor, lo que garantiza la estabilidad del proceso de fusión. El sistema de suministro de gas proporciona oxígeno y acetileno, y la relación de mezcla se ajusta mediante un medidor de flujo para optimizar la temperatura y la estabilidad de la llama. La unidad de control ajusta los parámetros de pulverización, como la velocidad de alimentación del hilo, la intensidad de la llama y la distancia de pulverización, a través de una interfaz digital.

El sistema de pulverización de llama tiene una estructura simple y es adecuado para la construcción en el sitio y la deposición de recubrimientos en grandes áreas, y es ampliamente utilizado en la reparación de piezas de automóviles y la protección de maquinaria industrial. Sin embargo, la temperatura de la llama es más baja y la porosidad del recubrimiento es alta, lo que debe optimizarse junto con el equipo de posttratamiento. Los sistemas modernos de pulverización de llama integran

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

el control automatizado y la supervisión en línea para mejorar la eficiencia y la consistencia de la pulverización.

6.3.2 Equipos de pulverización por plasma

El equipo de pulverización de plasma utiliza plasma a alta temperatura (hasta 15.000 °C) para derretir hilos de molibdeno y formar una corriente de alta velocidad de goteos fundidos que se depositan en la superficie del sustrato para formar una capa densa. Este equipo incluye una pistola de pulverización de plasma, un sistema de suministro de energía, un sistema de suministro de gas y una unidad de refrigeración.

La pistola de pulverización de plasma convierte un gas inerte (como argón o nitrógeno) en un plasma de alta temperatura por medio de un arco eléctrico, y el alambre de molibdeno se introduce en la corriente de plasma para fundirse rápidamente. El diseño de la boquilla de la pistola rociadora debe garantizar la estabilidad y direccionalidad del flujo de plasma para mejorar la calidad del recubrimiento. El sistema de suministro de energía proporciona corriente continua de alto voltaje, que controla la fuerza y la estabilidad del arco. El sistema de suministro de gas regula con precisión el flujo y la composición del gas de plasma para optimizar el efecto de fusión. El dispositivo de enfriamiento evita que la pistola se sobrecaliente mediante enfriamiento por agua o enfriamiento por aire, prolongando la vida útil del equipo.

Los equipos de pulverización de plasma son capaces de producir recubrimientos de molibdeno de alta dureza y baja porosidad para aplicaciones de alto rendimiento en los sectores aeroespacial y energético. Su alta precisión y flexibilidad le permiten manejar sustratos con geometrías complejas, pero los costos del equipo son altos, la operación es compleja y se requiere soporte técnico profesional.

6.3.3 Dispositivo de pulverización por arco

El dispositivo de pulverización por arco utiliza el calentamiento por arco entre dos alambres de molibdeno para derretir el alambre y rociarlo sobre la superficie del sustrato a través de aire comprimido. Dicho dispositivo incluye una pistola rociadora de arco, un sistema de alimentación de alambre, un sistema de suministro de energía y un compresor de aire.

La pistola rociadora de arco crea un arco estable controlando con precisión el contacto de dos alambres de molibdeno, derritiendo el extremo del alambre. El sistema de alimentación de alambre es accionado por dos motores para garantizar que los dos alambres de molibdeno se alimenten a la pistola rociadora a la misma velocidad para mantener la estabilidad del arco. El sistema de alimentación proporciona alimentación de CC o CA, regulando la intensidad y la duración del arco. El compresor de aire crea una corriente de aire a alta presión que atomiza y rocía gotas de molibdeno fundido sobre el sustrato para formar un recubrimiento uniforme.

La unidad de pulverización por arco tiene una alta eficiencia de deposición y es adecuada para pulverizar grandes áreas, como estructuras de acero de puentes o protección de componentes de barcos. Su calidad de recubrimiento está entre la pulverización de llama y la pulverización de plasma,

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

y el costo es bajo, lo que lo hace adecuado para la producción industrial. Las modernas unidades de pulverización por arco integrador integran un sistema de control automatizado para mejorar la consistencia y la productividad de la pulverización.

6.3.4 Equipos de oxicorte de alta velocidad (HVOF)

Los equipos de pulverización de oxicombustible a alta velocidad (HVOF) utilizan la combustión a alta presión de oxígeno y combustible, como queroseno o propano, para producir una llama supersónica que derrite el alambre de molibdeno y lo rocía sobre la superficie del sustrato a velocidades extremadamente altas. Este equipo incluye pistolas de pulverización HVOF, sistemas de suministro de combustible, sistemas de suministro de oxígeno y unidades de refrigeración.

La pistola rociadora HVOF enciende la mezcla de combustible y oxígeno a través de la cámara de combustión y el diseño de la boquilla, formando un flujo de llama con alta temperatura y alta presión. El alambre de molibdeno se introduce en una corriente de llama para derretirse rápidamente y se rocía sobre el sustrato a velocidades supersónicas para formar un recubrimiento denso y de baja porosidad. El sistema de suministro de combustible y oxígeno optimiza la eficiencia de la combustión y la velocidad de la llama a través de un control preciso del flujo. La unidad de enfriamiento protege la lanza de daños por alta temperatura mediante un sistema de enfriamiento por agua.

Los equipos HVOF son capaces de producir recubrimientos de molibdeno con alta dureza y alta adherencia, que son adecuados para aplicaciones de alta gama como motores aeronáuticos y turbinas de gas. Sus características de alta velocidad y baja temperatura reducen la oxidación y el estrés térmico del recubrimiento, pero la complejidad y el costo del equipo son altos. El moderno equipo HVOF está equipado con un sistema de control digital y una función de monitoreo en línea, que puede ajustar los parámetros de pulverización en tiempo real y mejorar la calidad del recubrimiento.

6.4 Equipos auxiliares y de postratamiento

Los equipos auxiliares y de postratamiento se utilizan para respaldar la preparación del sustrato, el acabado del recubrimiento y la inspección de calidad en el proceso de pulverización para garantizar el rendimiento y la confiabilidad del producto final. Esta sección discutirá el equipo de pretratamiento de sustrato, el equipo de postratamiento de recubrimiento y el equipo de inspección y monitoreo en línea.

6.4.1 Equipos de pretratamiento de sustratos

El equipo de pretratamiento del sustrato se utiliza para limpiar y optimizar la superficie del sustrato y mejorar la adherencia del recubrimiento. Estos incluyen máquinas de chorro de arena, tanques de limpieza química y limpiadores ultrasónicos.

La máquina de chorro de arena aumenta la rugosidad de la superficie del sustrato al inyectar abrasivos como alúmina o carburo de silicio a alta velocidad, eliminando óxidos y recubrimientos viejos. Las máquinas modernas de chorreado abrasivo están equipadas con sistemas de inyección automatizados y dispositivos de recuperación, que pueden controlar el flujo de abrasivo y el ángulo

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

de rociado, mejorando la eficiencia del tratamiento y el respeto al medio ambiente. Los baños de limpieza química utilizan soluciones alcalinas o ácidas para eliminar el aceite y los contaminantes orgánicos, y están equipados con un sistema de filtración circulante para garantizar la pureza del líquido de limpieza. Los limpiadores ultrasónicos utilizan ondas sonoras de alta frecuencia para crear pequeñas burbujas y eliminar partículas del tamaño de micras de la superficie del sustrato y son adecuados para piezas con geometrías complejas.

Estas máquinas requieren parámetros de proceso que se adapten al sustrato, el material y la forma. Por ejemplo, los sustratos de aleación de aluminio requieren condiciones suaves de granallado y limpieza, mientras que los sustratos de acero inoxidable pueden soportar una mayor resistencia de procesamiento. La sinergia del equipo de pretratamiento proporciona una superficie de sustrato ideal para el proceso de pulverización.

6.4.2 Equipos de postratamiento de recubrimiento

El equipo de postratamiento de recubrimientos se utiliza para optimizar el rendimiento de los recubrimientos, incluidos los hornos de tratamiento térmico, las máquinas pulidoras y las unidades de tratamiento de sellos. El horno de tratamiento térmico se calienta por vacío o atmósfera protectora para eliminar las tensiones residuales en el recubrimiento y mejorar la microestructura. Los hornos de tratamiento térmico modernos están equipados con un sistema de calentamiento y enfriamiento de múltiples etapas que permite un control preciso del perfil de temperatura para evitar el agrietamiento del recubrimiento.

Las máquinas pulidoras incluyen equipos de pulido mecánico y pulido electroquímico. Las pulidoras mecánicas muelen la superficie del recubrimiento a través de abrasivos, reduciendo la rugosidad y mejorando el acabado. La unidad de pulido electroquímico alisa la superficie recubierta por electrólisis y es adecuada para aplicaciones de alta precisión. Los dispositivos de tratamiento de sellado mejoran la resistencia a la corrosión mediante la pulverización o impregnación de selladores orgánicos/inorgánicos para rellenar los poros del revestimiento. Estos dispositivos mejoran significativamente la durabilidad y funcionalidad de los recubrimientos.

6.4.3 Equipos de detección y seguimiento en línea

Los equipos de inspección y monitoreo en línea, incluidos medidores de espesor láser, cámaras de imágenes térmicas y detectores ultrasónicos, se utilizan para evaluar el proceso de recubrimiento y la calidad del recubrimiento en tiempo real. Los medidores de espesor láser inspeccionan con precisión el espesor y la uniformidad del recubrimiento a través de mediciones sin contacto. Las cámaras termográficas controlan la distribución de la temperatura de los sustratos y revestimientos para evitar el sobrecalentamiento o el enfriamiento desigual. Los detectores ultrasónicos se utilizan para detectar poros o grietas dentro de los recubrimientos para garantizar la calidad.

Estos dispositivos se integran con sistemas de adquisición de datos para registrar los parámetros del proceso y los resultados de las pruebas en tiempo real para proporcionar soporte de datos para la gestión de la calidad y la optimización del proceso. Los equipos de inspección modernos también admiten el monitoreo remoto, lo que permite a los operadores analizar el estado del equipo a través

[Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

de una plataforma basada en la nube para mejorar la productividad y la confiabilidad.

6.5 Automatización y equipos inteligentes

La automatización y los equipos inteligentes representan la dirección futura de la tecnología de producción de alambre de pulverización de molibdeno, a través de la integración de robots, sensores y tecnología de inteligencia artificial para lograr una producción eficiente y precisa. En esta sección se analizarán las líneas de pulverización automatizadas, los sistemas inteligentes de control y adquisición de datos, y los sistemas de pulverización robotizados.

6.5.1 Línea de producción de pulverización automática

La línea de pulverización automatizada integra equipos de pulverización, sistemas de alimentación de alambre y cintas transportadoras para lograr una producción continua desde el pretratamiento del sustrato hasta el postratamiento del recubrimiento. La línea de producción está equipada con un sistema de control automático, que coordina el trabajo de cada equipo a través de PLC (controlador lógico programable) para garantizar la estabilidad de los parámetros del proceso. Los transportadores, como las cintas transportadoras o los brazos robóticos, mueven el sustrato desde la estación de pretratamiento hasta la estación de pulverización y luego a la estación de postratamiento, lo que reduce la intervención manual.

La ventaja de una línea de pulverización automatizada es su alta eficiencia y consistencia. Por ejemplo, una línea de pulverización de piezas de automóviles es capaz de procesar continuamente miles de anillos de pistón con una desviación de la calidad del recubrimiento de menos del 1%. La línea de producción también está equipada con un sistema de reciclaje de residuos para reducir los residuos de salpicaduras de alambre de molibdeno y cumplir con los requisitos de la fabricación ecológica.

6.5.2 Sistemas inteligentes de control y adquisición de datos

El Sistema Inteligente de Control y Adquisición de Datos (SCADA) utiliza sensores y tecnología IoT para monitorear parámetros clave en el proceso de pulverización, como la temperatura, la presión y la velocidad de alimentación del alambre, en tiempo real. Estos sistemas, combinados con algoritmos de inteligencia artificial, son capaces de predecir las desviaciones del proceso y ajustar automáticamente los parámetros. Por ejemplo, los modelos de aprendizaje automático pueden mejorar la calidad del recubrimiento optimizando las distancias de pulverización y los caudales de gas en función de los datos históricos.

El sistema SCADA también admite la visualización de datos y la gestión remota, lo que permite a los operadores ver el estado de la producción en tiempo real a través de dispositivos móviles. La base de datos basada en la nube consolida los datos operativos de múltiples líneas de producción para respaldar la optimización de procesos y el mantenimiento de equipos. Este sistema inteligente mejora significativamente la eficiencia de la producción y la calidad del producto, e impulsa la transformación digital de la tecnología de recubrimiento.

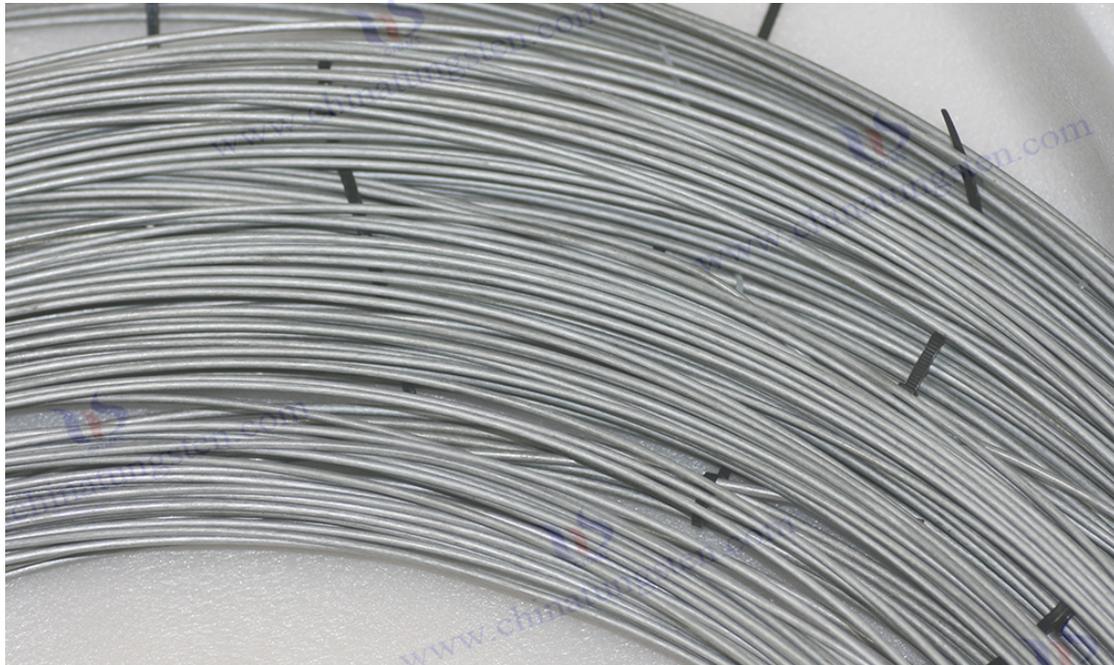
6.5.3 Sistemas de pulverización robotizados

El sistema de recubrimiento robótico utiliza robots industriales multieje para lograr un

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

recubrimiento preciso de sustratos complejos. El robot está equipado con tecnología de reconocimiento visual y planificación de trayectorias, que puede adaptarse a diferentes formas y tamaños de sustratos, y ajustar automáticamente el ángulo de la pistola y la trayectoria de movimiento. El robot de pulverización está integrado con un sistema de inspección en línea para proporcionar información en tiempo real sobre la calidad del recubrimiento y optimizar dinámicamente los parámetros del recubrimiento.

El uso de sistemas de pulverización robotizados ha aumentado significativamente la flexibilidad de la producción. Por ejemplo, en el sector aeroespacial, los robots son capaces de preparar un recubrimiento uniforme de molibdeno para la superficie curva de los álabes de las turbinas; En la industria automotriz, los robots pueden cambiar rápidamente entre programas de pulverización para diferentes piezas, lo que reduce los tiempos de ciclo. La amplia aplicación de estos sistemas ha promovido el desarrollo de la producción de alambre de pulverización de molibdeno en la dirección de la inteligencia y la flexibilidad.



CTIA GROUP LTD alambre de pulverización de molibdeno

Capítulo 7 Normas nacionales y extranjeras para alambre de pulverización de molibdeno

Como material de alto rendimiento, la producción y aplicación de alambre de pulverización de molibdeno debe seguir estándares estrictos para garantizar la calidad del producto, la consistencia del proceso y la seguridad de la aplicación. Se han formulado una serie de normas para el alambre de molibdeno y los materiales de pulverización térmica en el país y en el extranjero, que abarcan las materias primas, la tecnología de procesamiento, las pruebas de rendimiento y las especificaciones de aplicación. Este capítulo discutirá sistemáticamente los estándares nacionales, los estándares internacionales, los estándares de la industria y las especificaciones empresariales del alambre de pulverización de molibdeno, y realizará un análisis en profundidad de las diferencias y la aplicabilidad de estos estándares, a fin de proporcionar referencia para los productores y usuarios.

7.1 Normas nacionales para el alambre de pulverización de molibdeno

Como el mayor productor y consumidor mundial de recursos de molibdeno, China ha formulado una serie de normas nacionales (GB/T) relacionadas con el alambre de molibdeno y los materiales de pulverización térmica, que proporcionan especificaciones para la producción, prueba y aplicación de alambre de pulverización de molibdeno. Estas normas son emitidas por la Administración de Normalización de la República Popular China y son ampliamente utilizadas en las industrias nacionales de procesamiento de molibdeno y pulverización térmica. Esta sección presentará en detalle las normas nacionales directamente relacionadas con el alambre de pulverización de molibdeno, incluida GB/T 4181-2017 "Alambre de molibdeno", GB/T 3462-2017 "Barra de molibdeno y blanco de molibdeno", GB/T 4197-2011 "Alambre metálico para pulverización" y otras normas relevantes.

7.1.1 GB/T 4181-2017 "Alambre de molibdeno" y requisitos relacionados

GB/T 4181-2017 "Alambre de molibdeno" es un estándar nacional para la preparación y el rendimiento del alambre de molibdeno en China, que es adecuado para el alambre de molibdeno para diversos fines, incluido el alambre de molibdeno para pulverización. La norma especifica en detalle la composición química, la tolerancia dimensional, las propiedades mecánicas, la calidad de la superficie y los métodos de prueba del alambre de molibdeno, lo que proporciona una base técnica para la producción de alambre de pulverización de molibdeno.

La norma tiene requisitos extremadamente estrictos para la composición química del alambre de molibdeno, estipulando que la pureza del molibdeno debe alcanzar más del 99,95% y limitando el contenido de impurezas como hierro, níquel, carbono y oxígeno. Estos requisitos garantizan que el alambre de molibdeno tenga un comportamiento de fusión estable y excelentes propiedades de recubrimiento durante el proceso de pulverización. La norma también estipula el rango de diámetro y la tolerancia del alambre de molibdeno, que generalmente es de 0,02 mm a 3,0 mm, y el alambre de molibdeno para pulverización se concentra principalmente en el rango de 1,0 mm a 2,0 mm para satisfacer las necesidades de diferentes equipos de pulverización.

En términos de propiedades mecánicas, la norma requiere que el alambre de molibdeno tenga una

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

resistencia a la tracción y ductilidad adecuadas para garantizar que no sea fácil de romper durante el trefilado y la alimentación del alambre. La calidad de la superficie es otro criterio clave, y el filamento de molibdeno para la pulverización debe tener una superficie lisa, sin grietas y sin óxido para reducir las salpicaduras de gotas durante el proceso de pulverización. Los métodos de inspección incluyen el análisis químico (mediante espectrometría de emisión de plasma acoplada inductivamente), la medición dimensional (mediante un micrómetro de alta precisión o un calibrador láser) y la inspección de superficies (mediante microscopía o inspección visual).

GB/T 4181-2017 cubre los campos aeroespacial, automotriz y electrónico, y proporciona la base para la producción estandarizada de alambre de pulverización de molibdeno. La norma también hace hincapié en los requisitos de embalaje y transporte, estipulando que el alambre de molibdeno debe ser un embalaje sellado al vacío o protegido con gas inerte para evitar la humedad o la oxidación.

7.1.2 GB/t 3462-2017

GB/T 3462-2017 "Barra de molibdeno y palanquilla de molibdeno" es un estándar nacional para materias primas en la etapa de preproducción de alambre de molibdeno, que es aplicable a barras de molibdeno y palanquillas de molibdeno preparadas por proceso de pulvimetalurgia. Estos materiales son el punto de partida del proceso de trefilado y su calidad afecta directamente el rendimiento del alambre de pulverización de molibdeno.

Esta norma especifica la composición química, el tamaño, la densidad y la calidad de la superficie de las barras de molibdeno y los espacios en blanco de molibdeno. Los requisitos de composición química son consistentes con GB/T 4181-2017, y la pureza del molibdeno debe alcanzar el 99.95%, y el contenido de impurezas debe limitarse para garantizar la estabilidad del procesamiento posterior. En términos de tamaño, la norma cubre una amplia gama de barras y piezas en bruto de molibdeno, normalmente con diámetros que van de 5 mm a 100 mm, y longitudes adaptadas a las necesidades del usuario. La densidad es un indicador importante de la palanquilla de molibdeno, que debe estar cerca de la densidad teórica (10,2 g/cm³) para garantizar que no haya defectos internos durante el proceso de trefilado.

La calidad de la superficie requiere que la superficie de las barras de molibdeno y los espacios en blanco de molibdeno esté libre de grietas, incrustaciones de óxido o inclusiones, y los requisitos de acabado deben ser torneados o rectificadas para cumplir con los requisitos de acabado. Los métodos de inspección incluyen la detección ultrasónica de defectos (comprobación de defectos internos), el análisis químico y la observación microestructural (evaluación del tamaño de grano y la uniformidad). La norma también especifica los parámetros del proceso de tratamiento térmico, como las temperaturas de sinterización y forja, para optimizar la microestructura de la palanquilla de molibdeno.

Para la producción de alambre de pulverización de molibdeno, GB/T 3462-2017 proporciona especificaciones para materias primas de alta calidad para garantizar que las barras de molibdeno y los espacios en blanco de molibdeno puedan cumplir con los exigentes requisitos de trefilado y

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

pulverización. Este estándar es ampliamente utilizado en empresas nacionales de procesamiento de molibdeno, como Jinduicheng Molibdeno y Luoyang Molibdeno.

7.1.3 GB/t 4197-2011

GB/T 4197-2011 "Alambre metálico para pulverización" es un estándar especial para alambre metálico para pulverización térmica en China, que cubre una variedad de materiales de alambre metálico, incluido el alambre de molibdeno. Esta norma proporciona orientación específica sobre el rendimiento, las especificaciones y las pruebas del alambre de pulverización de molibdeno, y es particularmente aplicable a los procesos de pulverización de llama y pulverización por arco.

La norma especifica la composición química, las tolerancias dimensionales, la condición de la superficie y los requisitos de embalaje del alambre de molibdeno para pulverización. La pureza química del alambre de molibdeno debe cumplir con los requisitos de GB / T 4181-2017, y la superficie debe ser lisa, libre de aceite y óxido para garantizar la uniformidad de las gotas de fusión y la calidad del recubrimiento durante el proceso de pulverización. Los requisitos de tolerancia dimensional son estrictos y la desviación del diámetro del alambre de molibdeno para la pulverización debe controlarse dentro de $\pm 0,02$ mm para satisfacer las necesidades del sistema automático de alimentación de alambre.

En términos de pruebas de rendimiento, la norma requiere pruebas de tracción, pruebas de rugosidad superficial y pruebas de pulverización de alambres de molibdeno. La prueba de tracción evalúa la resistencia a la tracción y la ductilidad del alambre para garantizar que no sea fácil de romper durante la alimentación del alambre. La prueba de rugosidad de la superficie se mide con un perfilómetro para garantizar que el acabado de la superficie del alambre cumpla con los requisitos de pulverización. La prueba de pulverización evalúa la adherencia, la porosidad y la uniformidad del recubrimiento a través de operaciones de pulverización reales, utilizando como referencia métodos de prueba aceptados internacionalmente, como ASTM C633.

La formulación de GB/T 4197-2011 llena el vacío en la estandarización del alambre metálico para la pulverización en China y proporciona apoyo técnico para la aplicación del alambre de pulverización de molibdeno en los campos de la automoción, la energía y la construcción naval. La norma también hace hincapié en los requisitos de protección del medio ambiente, estipulando que los gases residuales y las emisiones de residuos deben reducirse en el proceso de producción, en línea con la tendencia de la fabricación ecológica.

7.1.4 Otras normas nacionales pertinentes

Además de las normas básicas mencionadas anteriormente, China también ha formulado una serie de normas nacionales relacionadas con la producción y aplicación de alambre de pulverización de molibdeno, que abarcan las materias primas, la tecnología de procesamiento y las propiedades del recubrimiento. Por ejemplo:

GB/T 15258-2009 "Principios generales de los métodos de análisis químico": proporciona métodos generales para el análisis de la composición química de alambres y recubrimientos de molibdeno,

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

incluida la espectrometría de emisión de plasma acoplada inductivamente (ICP-OES) y la espectrometría de absorción atómica (AAS), para garantizar una detección precisa del contenido de impurezas.

GB/T 4325-2013 "Métodos de análisis químico para molibdeno y aleaciones de molibdeno": Específicamente para materiales de molibdeno, se especifican los métodos de análisis de hierro, níquel, carbono, oxígeno y otros elementos, lo que proporciona una base técnica para la detección de materias primas y productos terminados de alambre de pulverización de molibdeno.

GB/T 17733-2008 "Requisitos de calidad para recubrimientos de pulverización térmica": Especifica los requisitos de rendimiento de los recubrimientos de pulverización térmica, incluida la adhesión, la dureza, la porosidad y la resistencia a la corrosión, y es adecuado para recubrimientos preparados por alambres de pulverización de molibdeno.

GB/T 14842-2007 "Métodos de prueba para las propiedades mecánicas del molibdeno y las aleaciones de molibdeno": Proporciona especificaciones para las pruebas de resistencia a la tracción, ductilidad y dureza del alambre de molibdeno para garantizar que cumpla con los requisitos de propiedades mecánicas del proceso de pulverización.

Juntas, estas normas constituyen un sistema de especificación completo para la producción y aplicación de alambre de pulverización de molibdeno, que cubre todos los eslabones, desde las materias primas hasta los productos terminados. Cuando las empresas nacionales producen alambre de pulverización de molibdeno, generalmente deben cumplir con una serie de estándares al mismo tiempo para satisfacer las necesidades de diferentes industrias y clientes.

7.2 Normas internacionales para el alambre de pulverización de molibdeno

Las normas internacionales proporcionan un marco unificado para el comercio mundial y el intercambio técnico de alambre de pulverización de molibdeno, que son formulados principalmente por la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM), la Organización Internacional de Normalización (ISO) y otras instituciones. Estos estándares son altamente autorizados en términos de composición química, pruebas de rendimiento y especificaciones de aplicación, y se utilizan ampliamente en las industrias de procesamiento de molibdeno y pulverización térmica en Europa, América y Asia. Esta sección se centrará en las varillas, barras y alambres de molibdeno y aleaciones de molibdeno ASTM B387-18, la especificación ISO 20407 para materiales de pulverización térmica, el alambre ISO 14919 para la pulverización térmica y otras normas internacionales relevantes.

7.2.1 ASTM B387-18 Varillas, barras y alambres de molibdeno y aleaciones de molibdeno

ASTM B387-18 es un estándar estadounidense para materiales de molibdeno y aleaciones de molibdeno, que es adecuado para varias formas de materiales de molibdeno, como varillas, tiras y alambres, incluido el alambre de molibdeno para pulverización. Esta norma fue desarrollada por ASTM International y es ampliamente utilizada en los sectores aeroespacial, electrónico y energético.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

La norma especifica la composición química, las propiedades mecánicas, las tolerancias dimensionales y la calidad de la superficie del alambre de molibdeno. Los requisitos de pureza del molibdeno se dividen en varios grados, el grado más alto (Tipo 361) requiere un contenido de molibdeno del 99,97% y el contenido de impurezas (como carbono, oxígeno, hierro) está estrictamente limitado. El alambre de molibdeno para pulverización generalmente se selecciona en un grado de alta pureza para garantizar la estabilidad química y el rendimiento del recubrimiento. La tolerancia dimensional requiere que la desviación del diámetro del alambre de molibdeno se controle dentro de $\pm 0,01$ mm, y la superficie debe estar libre de grietas, óxidos u otros defectos.

Las pruebas de propiedades mecánicas incluyen resistencia a la tracción, alargamiento y dureza, y la norma proporciona métodos de prueba detallados, como pruebas de tracción (ver ASTM E8) y pruebas de dureza (ver ASTM E18). Los controles de calidad de la superficie se llevan a cabo mediante observación visual y microscópica para garantizar que los filamentos sean adecuados para las altas exigencias de la pulverización térmica. La norma también estipula los requisitos de embalaje y etiquetado para el alambre de molibdeno, que debe empaquetarse a prueba de humedad y oxidación, y marcado con el número de lote, la especificación y la información del fabricante.

ASTM B387-18 está altamente internacionalizado y muchas empresas chinas deben cumplir con este estándar cuando exportan alambre de molibdeno recubierto con aerosol. Los requisitos de alta precisión de la norma la hacen especialmente adecuada para aplicaciones en la industria aeroespacial y de semiconductores, como recubrimientos de álabes de turbinas y cables calefactores recubiertos al vacío.

7.2.2 Especificación ISO 20407 para materiales de pulverización térmica

ISO 20407 es una especificación general para materiales de pulverización térmica desarrollada por la Organización Internacional de Normalización, que cubre una variedad de formas de materiales como alambre, polvo y varilla, incluido el alambre de pulverización de molibdeno. Esta norma proporciona un marco para el rendimiento, las pruebas y la aplicación de materiales de pulverización térmica para procesos como la pulverización con llama, la pulverización con plasma y la pulverización con arco.

La norma establece los requisitos para la composición química, el tamaño y la condición de la superficie del alambre de pulverización de molibdeno. La pureza del alambre de molibdeno debe alcanzar más del 99,95%, y la superficie debe ser lisa, libre de aceite y óxido para garantizar la estabilidad y la calidad del recubrimiento durante el proceso de pulverización. Los requisitos de tolerancia dimensional son similares a los de ASTM B387-18, y la desviación del diámetro debe controlarse dentro de $\pm 0,02$ mm. La norma también especifica las condiciones de embalaje y almacenamiento del alambre, que debe estar sellado al vacío o protegido con gas inerte contra factores ambientales.

En cuanto a las pruebas de rendimiento, la norma ISO 20407 proporciona una serie de métodos de prueba, incluido el análisis químico (mediante espectroscopia), las pruebas de rugosidad de la superficie (con referencia a la norma ISO 4287) y las pruebas de rendimiento por pulverización. La

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

prueba de rendimiento de pulverización evalúa la adherencia, la porosidad y la microestructura de los recubrimientos utilizando estándares de prueba aceptados internacionalmente, como ASTM C633 (prueba de adherencia) e ISO 6507 (prueba de dureza). La norma también hace hincapié en un sistema de gestión de calidad que requiere que los fabricantes establezcan registros trazables para garantizar un rendimiento constante de un lote a otro.

La versatilidad de la norma ISO 20407 la hace adecuada para la industria mundial de la pulverización térmica, especialmente en los mercados europeo y asiático. La norma proporciona una base técnica para el comercio internacional de alambre de pulverización de molibdeno y promueve la cooperación transfronteriza y los intercambios técnicos.

7.2.3 Alambre ISO 14919 para pulverización térmica

La norma ISO 14919 es una norma específica para el alambre para la pulverización térmica y es aplicable a una amplia gama de materiales de alambre, incluido el alambre de molibdeno. Esta norma especifica en detalle las especificaciones, propiedades y métodos de prueba para rociar alambres, y proporciona especificaciones para los procesos de rociado de llama y rociado por arco.

La norma requiere que el alambre de pulverización de molibdeno tenga una alta pureza y una composición química uniforme, el contenido de molibdeno debe alcanzar el 99,95% y el contenido de impurezas debe controlarse estrictamente. En cuanto a las dimensiones, la norma especifica un rango de diámetro común (de 1,0 mm a 3,2 mm) con tolerancias de acuerdo con la norma ISO 286. La calidad de la superficie requiere que el alambre no tenga grietas, óxidos, residuos de lubricante y debe limpiarse o pulirse químicamente para lograr el estándar de acabado.

Los métodos de prueba incluyen pruebas de tracción (para evaluar la resistencia a la tracción y la ductilidad), controles de calidad de la superficie (utilizando microscopios o perfiladores) y pruebas de pulverización (para evaluar las propiedades del recubrimiento). La norma también proporciona especificaciones de embalaje y envío que requieren que el alambre se empaquete de manera resistente a la humedad y la oxidación, con información de identificación detallada, como el tipo de material, el número de lote y la fecha de fabricación.

La especificidad de la norma ISO 14919 la convierte en una importante norma de referencia para la industria de la pulverización térmica, especialmente para aplicaciones de recubrimiento en los sectores de la automoción, el marino y la energía. La norma complementa la ISO 20407 y en conjunto forman un sistema completo de especificaciones de materiales de pulverización térmica.

7.2.4 Otras normas internacionales

Además de las normas básicas anteriores, existen una serie de normas internacionales relacionadas con el recubrimiento de alambre de molibdeno, materiales de cobertura, procesos y propiedades de recubrimiento. Por ejemplo:

ASTM E8 / E8M-21 "Métodos de prueba de tracción para materiales metálicos": Proporciona un método general para probar la resistencia a la tracción y el alargamiento del alambre de molibdeno,

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

que es adecuado para probar las propiedades mecánicas de ASTM B387-18.

ASTM C633-13 Método de prueba para la adhesión de recubrimientos de pulverización térmica: Especifica un método de prueba de adherencia para recubrimientos de pulverización térmica, que se usa ampliamente para evaluar la calidad de los recubrimientos preparados por alambre de pulverización de molibdeno.

ISO 4287 Parámetros de textura de la superficie: Proporciona una especificación para la medición de la rugosidad de la superficie de alambres y recubrimientos de molibdeno, lo que garantiza que la calidad de la superficie de los alambres y recubrimientos cumpla con los requisitos del recubrimiento.

ISO 6507 Vickers Ensayo de dureza para materiales metálicos: Proporciona un método para el ensayo de dureza de los revestimientos de molibdeno y es adecuado para evaluar la resistencia al desgaste y las propiedades mecánicas de los revestimientos.

Estas normas brindan soporte técnico integral para la producción y aplicación de alambre de pulverización de molibdeno, que es de gran importancia especialmente en el mercado internacional. Muchas empresas multinacionales necesitan cumplir con múltiples estándares internacionales al producir alambre de pulverización de molibdeno para cumplir con los requisitos de diferentes países e industrias.

7.3 Estándares de la industria y especificaciones de la empresa para el alambre de pulverización de molibdeno

Además de los estándares nacionales e internacionales, la producción y aplicación de alambre de pulverización de molibdeno también debe seguir los estándares de la industria y las especificaciones corporativas internas. Estas especificaciones a menudo son desarrolladas por asociaciones de la industria o empresas líderes para proporcionar una guía más detallada para escenarios de aplicación específicos o requisitos técnicos. Esta sección explorará los estándares de la industria para metales no ferrosos, los estándares de la industria de pulverización térmica y las prácticas internas de control de calidad.

7.3.1 Normas de la industria de metales no ferrosos

La Asociación de la Industria de Metales No Ferrosos de China (CNIA) ha formulado una serie de normas industriales relacionadas con los materiales de molibdeno, complementando las deficiencias de las normas nacionales. Estas normas son redactadas por el Instituto de Tecnología y Economía de Metales No Ferrosos y otras instituciones, y son ampliamente utilizadas en las empresas nacionales de procesamiento de molibdeno.

YS / T 357-2014 "Molibdeno de alta pureza y aleaciones de molibdeno": Estipula la composición química, las propiedades y los métodos de prueba del alambre de molibdeno de alta pureza, la barra de molibdeno y otros materiales de aleación de molibdeno, que es adecuado para materias primas y productos semiacabados de alambre de pulverización de molibdeno. Esta norma exige que el

[Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

molibdeno tenga una pureza del 99,99%, lo que lo hace especialmente adecuado para aplicaciones en las industrias aeroespacial y de semiconductores.

YS/T 616-2012 "Métodos de inspección para molibdeno y productos procesados de aleaciones de molibdeno": Proporciona métodos de inspección detallados para el tamaño, la calidad de la superficie y las propiedades mecánicas de los alambres de molibdeno y las barras de molibdeno, incluida la detección ultrasónica de fallas, el análisis de microestructura y las pruebas de dureza.

YS / T 358-2011 "Polvo de molibdeno": Estipula la distribución del tamaño de partícula, la composición química y las propiedades físicas del polvo de molibdeno, y proporciona especificaciones para la preparación de materias primas para el alambre de pulverización de molibdeno.

Estos estándares de la industria proporcionan requisitos técnicos más específicos para la producción y el procesamiento de materiales de molibdeno, complementando los estándares GB/T. Las normas son formuladas por las principales empresas nacionales (como Jinduicheng Molibdeno y Luoyang Molibdeno), lo que refleja las necesidades reales y el nivel técnico de la industria.

7.3.2 Estándares de la industria de pulverización térmica

Desarrollado por el Grupo Nacional de Pulverización Térmica de China (CNTSG) y otras organizaciones internacionales como la Sociedad Americana de Pulverización Térmica (ASM TSS), el Estándar de la Industria de Pulverización Térmica proporciona orientación sobre el proceso de recubrimiento, el material y el rendimiento del recubrimiento.

JB / T 7702-2012 "Especificación técnica para la pulverización térmica": Una norma emitida por la Federación de la Industria de Maquinaria de China, que especifica los requisitos generales para el proceso de pulverización térmica, incluida la preparación del alambre de pulverización de molibdeno, los parámetros de pulverización y las pruebas de recubrimiento. Esta norma se aplica a los procesos de pulverización con llama, pulverización por arco y pulverización por plasma.

AWS C2.25/C2.25M: 2012 Especificación para materiales de pulverización térmica: Un estándar desarrollado por la Sociedad Americana de Soldadura (AWS) que cubre el alambre y los polvos para la pulverización, incluido el alambre de molibdeno. Esta norma proporciona especificaciones detalladas para el rendimiento y las pruebas de los materiales de pulverización y es aplicable al mercado norteamericano.

EN 15311 Requisitos de calidad para la pulverización térmica: Una norma europea que especifica los métodos de control de calidad para los recubrimientos de pulverización térmica, incluidas las pruebas de adhesión, porosidad y rugosidad de la superficie, para los recubrimientos preparados por alambre de pulverización de molibdeno.

Estos estándares de la industria proporcionan una orientación técnica más granular que los estándares nacionales para las necesidades específicas de los procesos de pulverización térmica. Los

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

estándares son desarrollados por expertos y empresas de la industria y reflejan las últimas tendencias en tecnología de pulverización térmica.

7.3.3 Especificaciones de control de calidad interno

Muchas empresas líderes en procesamiento de molibdeno y pulverización térmica han desarrollado especificaciones de control de calidad internas para satisfacer las necesidades de clientes o aplicaciones específicas. Estas especificaciones a menudo se basan en estándares nacionales y de la industria, pero agregan requisitos más estrictos o métodos de prueba personalizados.

La fortaleza de una especificación corporativa radica en su flexibilidad y relevancia, así como en su capacidad para responder rápidamente a los cambios del mercado y a las necesidades de los clientes. Estas especificaciones a menudo se combinan con ISO 9001 (Sistema de Gestión de Calidad) e ISO 14001 (Sistema de Gestión Ambiental) para garantizar el cumplimiento y la sostenibilidad en el proceso de producción.

7.4 Comparación estándar y análisis de aplicabilidad del alambre de pulverización de molibdeno

Las normas nacionales y extranjeras y las especificaciones de la industria proporcionan orientación multinivel para la producción y aplicación de alambre de pulverización de molibdeno, pero existen diferencias en su contenido y requisitos. Comprender estas diferencias y elegir el estándar adecuado es esencial para optimizar los procesos de producción y satisfacer las demandas del mercado. En esta sección se analizarán las diferencias entre las normas nacionales y extranjeras, y se discutirán sus escenarios de aplicación y base de selección.

7.4.1 Diferencias entre las normas nacionales y extranjeras

Existen las siguientes diferencias principales entre las normas nacionales y extranjeras en términos de composición química, requisitos de rendimiento, métodos de prueba y alcance de aplicación:

Composición química: Las normas nacionales (por ejemplo, GB/T 4181-2017) exigen una pureza del alambre de molibdeno del 99,95 %, mientras que las normas internacionales (por ejemplo, ASTM B387-18) ofrecen múltiples grados de pureza de hasta el 99,97 %. Las normas internacionales tienen límites más estrictos para ciertas impurezas (por ejemplo, oxígeno, nitrógeno) y son adecuadas para aplicaciones de alta precisión.

Tolerancias dimensionales: Las normas internacionales (por ejemplo, ISO 14919) exigen tolerancias dimensionales más estrictas, y las desviaciones de diámetro deben controlarse dentro de $\pm 0,01$ mm, mientras que las normas nacionales (por ejemplo, GB/T 4197-2011) permiten desviaciones de $\pm 0,02$ mm. Esto refleja la demanda de alambre de alta precisión en el mercado internacional.

Métodos de prueba: Las normas nacionales favorecen el uso de métodos tradicionales de análisis espectral y prueba mecánica, mientras que las normas internacionales (como ASTM C633) introducen técnicas de detección más avanzadas, como el análisis SEM y la detección ultrasónica de fallas, con mayor precisión de detección.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Ámbito de aplicación: Las normas nacionales (como GB/T 4197-2011) se centran más en aplicaciones generales en los campos de la automoción y la energía, mientras que las normas internacionales (como la ISO 20407) cubren campos de alta gama como la aeroespacial y los semiconductores, haciendo hincapié en las propiedades especiales de los revestimientos.

Requisitos ambientales: Las normas nacionales han agregado disposiciones de protección ambiental en los últimos años (por ejemplo, GB/T 4197-2011 requiere la reducción de las emisiones de escape), mientras que las normas internacionales (por ejemplo, ISO 20407) han incorporado conceptos de fabricación ecológica anteriormente, enfatizando la sostenibilidad del proceso de producción.

Estas diferencias reflejan las diferentes necesidades y niveles técnicos de los mercados nacionales y extranjeros. Las normas nacionales prestan más atención a la practicidad y la rentabilidad, y son adecuadas para aplicaciones industriales a gran escala; Los estándares internacionales ponen más énfasis en la alta precisión y el alto rendimiento, que son adecuados para el mercado de gama alta.

7.4.2 Selección y escenarios de aplicación estándar

La selección de los estándares de alambre de pulverización de molibdeno adecuados debe considerarse exhaustivamente de acuerdo con el escenario de aplicación, los requisitos del cliente y el posicionamiento en el mercado. Los siguientes son los criterios recomendados para los principales escenarios de aplicación:

Aeroespacial: Se recomiendan las normas ASTM B387-18 e ISO 20407 debido a sus estrictos requisitos de alta pureza y propiedades de recubrimiento para aplicaciones de alto rendimiento, como álabes de turbinas y recubrimientos de barrera térmica. Esto también se puede complementar con especificaciones internas de la empresa, como los estándares de Plansee.

Automoción: GB/T 4197-2011 e ISO 14919 son ideales para aplicaciones de recubrimiento de uso general, como anillos de pistón, sistemas de escape, etc. Estos estándares son rentables, tienen métodos de detección simples y son adecuados para la producción a gran escala.

Industria química y energética: GB/T 17733-2008 y AWS C2.25 se recomiendan para recubrimientos de tuberías e intercambiadores de calor resistentes a la corrosión. Estas normas especifican en detalle la resistencia a la corrosión y la durabilidad de los recubrimientos.

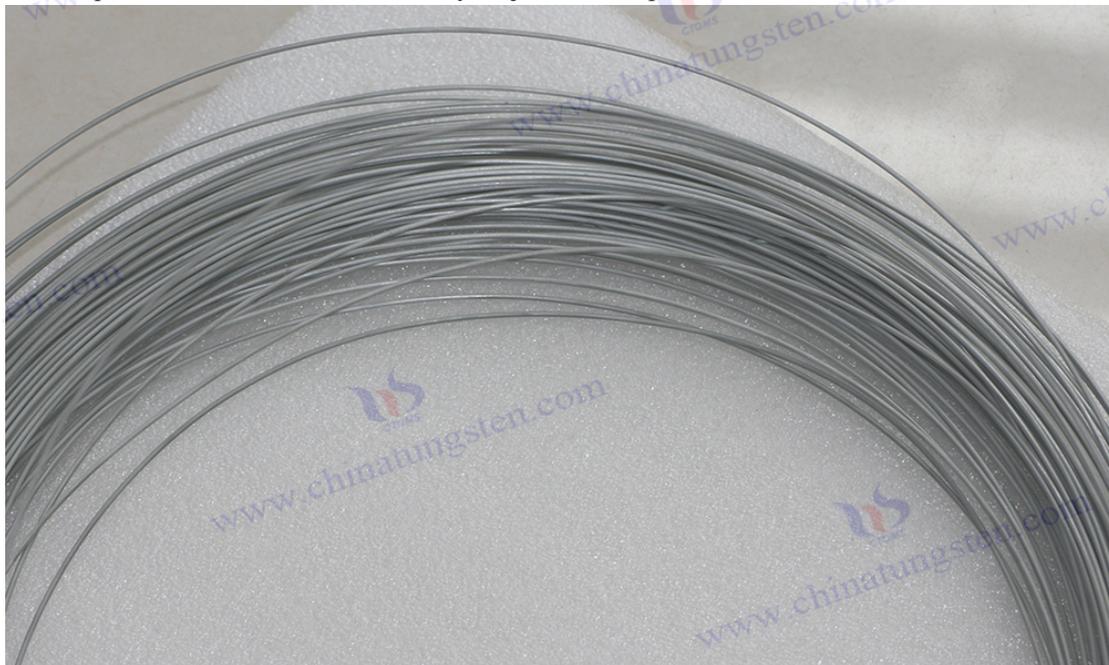
Industria electrónica y de semiconductores: ASTM B387-18 e YS/T 357-2014 son adecuadas para la preparación de alambres de molibdeno de alta pureza para cumplir con los exigentes requisitos de los recubrimientos al vacío y los cables semiconductores.

Mercados de exportación: Se requiere prioridad para cumplir con los estándares internacionales (por ejemplo, ISO 14919, ASTM B387-18) y las normas de la industria en los mercados objetivo (por ejemplo, EN 15311) para cumplir con los requisitos del cliente y el cumplimiento comercial.

En la práctica, las empresas a menudo tienen que cumplir con varias normas al mismo tiempo. Por

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

ejemplo, es posible que las empresas que exportan alambre de molibdeno recubierto por aerosol para uso aeroespacial deban cumplir con GB/T 4181-2017 (producción nacional), ASTM B387-18 (mercado internacional) y especificaciones internas (requisitos específicos del cliente). Al establecer un sistema de gestión de calidad estandarizado, las empresas pueden responder de manera flexible a los requisitos de diferentes estándares y mejorar la competitividad del mercado.



CTIA GROUP LTD alambre de pulverización de molibdeno

Capítulo 8 Pruebas y control de calidad del alambre de pulverización de molibdeno

La producción y aplicación de alambre de pulverización de molibdeno tiene requisitos de calidad extremadamente altos, y su rendimiento afecta directamente la durabilidad, la adhesión y la vida útil del recubrimiento. Las pruebas y el control de calidad son una parte clave para garantizar que el alambre de pulverización de molibdeno y su recubrimiento cumplan con los estándares de la industria y las necesidades del cliente, cubriendo todas las etapas de la producción, desde las materias primas hasta los productos terminados. Este capítulo discutirá sistemáticamente las pruebas de materias primas, las pruebas de calidad del alambre de molibdeno, las pruebas de recubrimiento por pulverización, la tecnología y el equipo de prueba y el sistema de gestión de calidad del alambre de pulverización de molibdeno, y revelará cómo lograr una producción de alta calidad a través de métodos de prueba científicos y estrictos procesos de gestión.

8.1 Pruebas de materias primas

La calidad de las materias primas es la base para la producción de alambre de pulverización de molibdeno, especialmente la composición química, el tamaño de partícula y el contenido de impurezas del polvo de molibdeno de alta pureza, lo que afecta directamente el rendimiento posterior del procesamiento y el recubrimiento. Las pruebas de materias primas requieren métodos analíticos de alta precisión para garantizar que el polvo de molibdeno cumpla con los estándares estrictos. Esta sección presentará en detalle el análisis de la composición química, las pruebas de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

tamaño y morfología de partículas, y las pruebas de contenido de impurezas del polvo de molibdeno.

8.1.1 Análisis de la composición química del polvo de molibdeno

La composición química del polvo de molibdeno es el indicador principal de su calidad, que determina directamente el rendimiento del alambre y el recubrimiento de molibdeno. El polvo de molibdeno para pulverización generalmente requiere que el contenido de molibdeno alcance más del 99.95%, y el contenido de impurezas como hierro, níquel, carbono y oxígeno debe controlarse estrictamente para evitar reacciones adversas o reducir la calidad del recubrimiento durante el proceso de pulverización a alta temperatura.

Para el análisis de la composición química se utilizaron espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) y espectroscopia de absorción atómica (AAS). ICP-OES es adecuado para la detección de impurezas metálicas como hierro, níquel y silicio mediante la excitación de muestras de polvo de molibdeno para generar espectros característicos y analizar los tipos y contenidos de elementos, y tiene las ventajas de alta sensibilidad y análisis simultáneo de múltiples elementos. AAS determina con precisión el contenido de un solo elemento mediante la absorción de luz a una longitud de onda específica por átomos, y se usa comúnmente para detectar trazas de carbono o azufre en polvo de molibdeno. El contenido de oxígeno y nitrógeno generalmente se determina mediante fusión de gas inerte, que determina con precisión el contenido de impurezas no metálicas calentando la muestra y analizando el gas liberado.

El proceso de análisis debe llevarse a cabo en un entorno limpio para evitar la contaminación externa. La preparación de la muestra implica la disolución o fusión ácida, lo que garantiza que el polvo de molibdeno se descomponga completamente en una solución detectable. Los resultados de las pruebas deben compararse con los estándares (por ejemplo, GB/T 4325-2013 "Métodos de análisis químico para molibdeno y aleaciones de molibdeno") para garantizar que se cumplan los requisitos de pureza del polvo de molibdeno para la pulverización. El análisis de la composición química no solo se utiliza para la aceptación de la materia prima, sino también para las pruebas de lotes a lo largo del proceso de producción para garantizar una calidad constante.

8.1.2 Detección del tamaño de partícula y la morfología del polvo de molibdeno

El tamaño de partícula y la morfología del polvo de molibdeno afectan su comportamiento en el proceso de prensado, sinterización y estirado, que es un punto de control importante para la producción de alambre de pulverización de molibdeno. El polvo de molibdeno ideal debe tener una distribución uniforme del tamaño de partícula y una morfología de partícula regular para garantizar la densidad de la pieza en bruto y la uniformidad del alambre.

La detección del tamaño de partícula utiliza principalmente un analizador láser de tamaño de partícula para medir el tamaño y la distribución de las partículas a través de la dispersión del rayo láser. El dispositivo permite un análisis rápido del rango de tamaño de partícula de los polvos de molibdeno (normalmente de 1 a 50 μm) para generar curvas detalladas de distribución del tamaño de partícula. Los resultados de la prueba deben cumplir con el estándar (por ejemplo, YS/T 358-2011 "Polvo de molibdeno") para garantizar que la distribución del tamaño de partícula esté

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

concentrada y que no haya partículas finas o de gran tamaño. Las partículas demasiado grandes pueden causar defectos de sinterización, mientras que las partículas demasiado finas pueden reducir la fluidez y afectar la eficiencia del prensado.

La detección de topografía utiliza microscopía electrónica de barrido (SEM) para observar la morfología de las partículas y las características de la superficie del polvo de molibdeno. SEM proporciona imágenes microscópicas de alta resolución que identifican si las partículas son esféricas, aglomeradas o tienen defectos en la superficie. Las partículas esféricas tienen buena fluidez y densidad aparente, lo que es adecuado para el proceso de pulvimetalurgia; Las partículas irregulares pueden aumentar la dificultad de prensado y afectar la calidad de la pieza en bruto. La detección de SEM a menudo se combina con la espectroscopia de energía (EDS) para analizar la distribución elemental en la superficie de las partículas y verificar la presencia de contaminación por óxido o impurezas.

Las pruebas de tamaño y morfología de las partículas se llevan a cabo de forma regular, cubriendo el almacenamiento y la inspección previa a la producción de cada lote de polvo de molibdeno. Los datos de prueba proporcionan la base para la optimización del proceso, como el ajuste de los parámetros de molienda o reducción para obtener las propiedades deseadas del polvo de molibdeno.

8.1.3 Detección del contenido de impurezas

La cantidad de impurezas es un indicador clave de la calidad del polvo de molibdeno, y las trazas de impurezas pueden causar defectos en el recubrimiento, como porosidad o grietas, durante el proceso de pulverización. Las pruebas de impurezas se centran no solo en elementos metálicos (por ejemplo, hierro, níquel), sino también en elementos no metálicos (por ejemplo, oxígeno, nitrógeno, carbono, azufre) y otros contaminantes traza.

La detección del contenido de oxígeno utiliza el método de fusión de gas inerte para determinar con precisión el contenido de oxígeno por absorción infrarroja o conductividad térmica para detectar el oxígeno liberado. El oxígeno es la impureza más común en el polvo de molibdeno, y un contenido de oxígeno demasiado alto puede hacer que el alambre de molibdeno se oxide a altas temperaturas, lo que reduce el rendimiento del recubrimiento. El nitrógeno y el carbono se detectan de manera similar quemando una muestra y analizando el gas resultante, que se determina mediante cromatografía de gases o espectroscopia infrarroja. Los niveles de azufre generalmente se miden mediante análisis químico o espectroscopia para garantizar que estén por debajo de los límites estándar.

La detección de impurezas metálicas se basa principalmente en ICP-OES o análisis de fluorescencia de rayos X (XRF). XRF es un método de detección no destructivo que analiza la composición elemental mediante los rayos X característicos emitidos por una muestra, lo que lo hace adecuado para el cribado rápido de impurezas como hierro, níquel, cobre, etc. ICP-OES proporciona una mayor precisión y es adecuado para el análisis preciso de trazas de impurezas. El proceso de prueba requiere la calibración de estándares de alta pureza para garantizar la precisión de los resultados.

Las pruebas de impurezas requieren un riguroso proceso de muestreo y análisis, en el que cada lote

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

de polvo de molibdeno se muestrea en múltiples ubicaciones para garantizar la representatividad. Los resultados de las pruebas se comparan con los estándares (por ejemplo, ASTM B387-18 o GB/T 4325-2013), y los lotes no conformes deben reparificarse o desecharse para garantizar la calidad de la materia prima.

8.2 Inspección de calidad del alambre de molibdeno

El alambre de molibdeno es el material central del proceso de pulverización, y su precisión dimensional, calidad de la superficie y propiedades mecánicas afectan directamente la estabilidad del proceso de pulverización y la calidad del recubrimiento. La inspección de calidad del alambre de molibdeno debe cubrir todos los eslabones de producción y entrega para garantizar que el alambre cumpla con los requisitos estándar. Esta sección discutirá la precisión dimensional y las mediciones de tolerancia, la inspección de defectos y rugosidades de la superficie y las pruebas de propiedades mecánicas.

8.2.1 Medición de la precisión dimensional y de la tolerancia

La precisión dimensional del alambre de molibdeno es un indicador importante de su calidad, especialmente la uniformidad y tolerancia del diámetro, lo que afecta directamente la estabilidad del sistema de alimentación del alambre y la formación de gotas fundidas. El diámetro del alambre de molibdeno para pulverización suele ser de 1,0 mm a 3,0 mm, y la tolerancia debe controlarse dentro de $\pm 0,02$ mm, de acuerdo con las normas (como GB/T 4181-2017 o ISO 14919).

La medición dimensional utiliza principalmente calibradores láser y micrómetros de alta precisión. El calibrador láser mide el diámetro del alambre de molibdeno en tiempo real a través de un escaneo láser sin contacto, proporcionando datos continuos de alta precisión y es adecuado para la inspección en línea. El dispositivo es capaz de detectar pequeñas fluctuaciones en el diámetro e identificar defectos que puedan ocurrir durante el proceso de embutición. Los micrómetros se utilizan para inspecciones fuera de línea, donde se miden manualmente múltiples secciones transversales para garantizar diámetros uniformes. El proceso de medición debe llevarse a cabo en un entorno de temperatura constante para evitar errores causados por los cambios de temperatura.

La verificación de tolerancia debe cubrir todo el rollo de alambre de molibdeno, seleccionar aleatoriamente varias secciones para la medición y registrar los valores de diámetro máximo y mínimo. Los resultados de la prueba se comparan con el estándar para garantizar que el alambre cumpla con los requisitos de precisión del equipo de pulverización. El alambre de molibdeno que no está en el tamaño correcto puede resultar en una alimentación de alambre inestable o un espesor de recubrimiento desigual que requiere retrabajo o desecho.

8.2.2 Detección de defectos superficiales y rugosidades

La calidad de la superficie del alambre de molibdeno es fundamental para el efecto de pulverización, y cualquier grieta, óxido o residuo de lubricante puede causar salpicaduras de gotas o defectos en el recubrimiento. La detección de defectos y rugosidades en la superficie es el enfoque del control de calidad del alambre de molibdeno, lo que garantiza que el alambre tenga una superficie lisa e impecable.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

La inspección de defectos superficiales utiliza la inspección visual y la observación microscópica. La inspección visual se utiliza para detectar rápidamente grietas, arañazos o incrustaciones de óxido visibles, y generalmente se realiza con luz brillante. La observación microscópica proporciona imágenes de mayor resolución y es capaz de detectar defectos superficiales como marcas de cuerdas o microfisuras en el rango de micras. Los equipos de inspección modernos también integran un sistema de imágenes digitales que puede identificar y registrar automáticamente la ubicación de los defectos, lo que mejora la eficiencia de la inspección.

La rugosidad de la superficie se inspecciona con un perfilómetro o un microscopio de fuerza atómica (AFM). El perfilómetro mide el perfil de la superficie con una sonda de contacto y genera parámetros de rugosidad (por ejemplo, Ra, Rz) para garantizar que la rugosidad de la superficie del alambre de molibdeno cumpla con las normas (por ejemplo, ISO 4287). El AFM proporciona una resolución nanométrica para aplicaciones de alta precisión para inspeccionar la textura microscópica de la superficie del filamento. Por lo general, se requiere que la rugosidad del alambre de molibdeno para la pulverización sea inferior a $0,2 \mu\text{m}$ Ra para reducir la fricción y las salpicaduras durante el proceso de pulverización.

La inspección de la superficie debe cubrir una muestra aleatoria de cada lote de alambre de molibdeno, combinada con un sistema de monitoreo en línea para verificar la calidad del proceso de estirado y pulido en tiempo real. Los cables gravemente defectuosos deben volver a limpiarse o pulirse para garantizar que cumplan con los requisitos de recubrimiento.

8.2.3 Ensayos de propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, dureza, etc.)

Las propiedades mecánicas del alambre de molibdeno, incluida la resistencia a la tracción, la ductilidad y la dureza, son clave para su estabilidad durante el estirado y la pulverización. Las pruebas de propiedades mecánicas garantizan que el alambre pueda soportar las tensiones del procesamiento y la alimentación del alambre para satisfacer las necesidades de la aplicación.

La resistencia a la tracción y la ductilidad se prueban utilizando máquinas de ensayo de tracción universales de acuerdo con normas como ASTM E8 o GB/T 14842-2007. Durante la prueba, la muestra de alambre de molibdeno se estira lentamente para registrar su fuerza de tracción máxima y alargamiento antes de romperse. La resistencia a la tracción refleja la capacidad de carga del alambre, mientras que la ductilidad refleja su capacidad de deformación plástica. El alambre de molibdeno para pulverización generalmente requiere una resistencia a la tracción moderada para evitar roturas durante la alimentación del alambre y, al mismo tiempo, tiene cierta ductilidad para adaptarse al proceso de estirado y recocido.

Las pruebas de dureza se realizan utilizando un probador de dureza Vickers o Rockwell según un estándar como ISO 6507 o ASTM E18. La prueba de dureza Vickers utiliza un indentador de diamante para aplicar una pequeña carga en la superficie del alambre de molibdeno, medir el tamaño de la indentación y calcular el valor de dureza. La prueba de dureza Rockwell se aplica a alambres más gruesos, donde la profundidad de indentación se mide por medio de una bola de acero o un

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

penetrador de diamante. La prueba de dureza puede reflejar la resistencia al desgaste y la procesabilidad del alambre de molibdeno, y la dureza del alambre de molibdeno para pulverización debe ser moderada para equilibrar la resistencia y la tenacidad.

La prueba de propiedades mecánicas requiere muestrear cada lote de alambre de molibdeno para garantizar que los resultados cumplan con los requisitos de la norma. Los datos de prueba proporcionan la base para la optimización del proceso, como el ajuste de la temperatura de recocido o la velocidad de estirado, para obtener la combinación ideal de propiedades.

8.3 Inspección de recubrimientos por pulverización

La calidad del recubrimiento por pulverización está en el corazón de la aplicación del alambre de pulverización de molibdeno, lo que afecta directamente la durabilidad y el rendimiento de la pieza. La inspección del recubrimiento evalúa el espesor, la adherencia, la microestructura y la resistencia a la corrosión, la temperatura y el choque térmico para garantizar que el recubrimiento cumpla con los requisitos de diseño. Estos ensayos se exploran en detalle en esta sección.

8.3.1 Medición del espesor y la uniformidad del recubrimiento

El espesor del recubrimiento es un parámetro crítico que afecta su rendimiento protector, demasiado delgado puede conducir a una protección insuficiente y demasiado grueso puede aumentar el estrés o el costo. El espesor del recubrimiento preparado por alambre de pulverización de molibdeno suele ser de 50-500 μm , y se debe garantizar la uniformidad para evitar la debilidad local.

La medición de espesores utiliza principalmente medidores de espesor ultrasónicos y medidores de espesor láser. Los medidores de espesor ultrasónicos calculan el espesor del recubrimiento reflejando ondas sonoras en la interfaz entre el recubrimiento y el sustrato, lo que lo hace adecuado para pruebas no destructivas. Los medidores de espesor láser miden la distancia entre la superficie del recubrimiento y el sustrato mediante escaneo láser, lo que proporciona datos de distribución de espesor altamente precisos para piezas con geometrías complejas. La inspección fuera de línea también se puede realizar utilizando un microscopio metalúrgico para medir con precisión el espesor del recubrimiento cortando la muestra para observar la sección transversal.

La evaluación de la uniformidad implica medir múltiples áreas de la superficie del recubrimiento, registrar los valores máximos y mínimos de espesor y calcular la tasa de desviación. Los resultados de las pruebas deben cumplir con la norma (por ejemplo, GB/T 17733-2008 o ASTM C633), y los recubrimientos con espesores desiguales deben optimizarse para los parámetros de pulverización, como el ajuste de la distancia de pulverización o la velocidad de alimentación del alambre.

8.3.2 Ensayo de adherencia del recubrimiento

La adhesión es un indicador clave de la fuerza de unión del recubrimiento al sustrato y determina la durabilidad del recubrimiento durante el funcionamiento. Los recubrimientos preparados por alambre de pulverización de molibdeno deben tener una alta adherencia para resistir el impacto mecánico y el estrés térmico.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Las pruebas de adherencia se realizan principalmente utilizando un método de prueba de tracción con referencia a una norma (por ejemplo, ASTM C633). Durante la prueba, la muestra de recubrimiento se une entre dos accesorios y una máquina de estiramiento aplica una tensión progresivamente creciente para registrar la fuerza máxima cuando el recubrimiento se despega. Los valores de adhesión se expresan en MPa, y los recubrimientos de molibdeno en aerosol generalmente requieren una adhesión de 30-50 MPa, dependiendo de la aplicación.

Otro método es la prueba de rayado, en la que se aplica una carga creciente a la superficie del recubrimiento mediante una aguja de trazado de diamante para observar el punto crítico en el que el recubrimiento se despega. La prueba de rayado es adecuada para evaluar la adherencia de un recubrimiento bajo tensión local y se puede combinar con la detección de emisiones acústicas para mejorar la precisión. Los recubrimientos con mala adherencia deben verificarse para el pretratamiento del sustrato o el proceso de pulverización, el granallado optimizado o la configuración de parámetros.

8.3.3 Análisis de la microestructura y porosidad del recubrimiento

La microestructura y la porosidad del recubrimiento afectan directamente sus propiedades mecánicas y su resistencia a la corrosión. Los recubrimientos de molibdeno en aerosol deben tener una microestructura densa y una baja porosidad para garantizar una excelente protección.

El análisis microestructural utiliza microscopía electrónica de barrido (SEM) y microscopía óptica. SEM proporciona imágenes transversales de alta resolución para visualizar el tamaño de grano, la unión interfacial y la distribución de defectos de los recubrimientos. La microscopía óptica es adecuada para analizar rápidamente una amplia área de la estructura del recubrimiento e identificar grietas o partículas no fundidas. Durante el proceso de inspección, la muestra se prepara cortando, montando y puliendo para garantizar que la sección transversal esté clara.

El análisis de porosidad se realiza mediante análisis de imagen o densitometría. El análisis de imágenes utiliza imágenes SEM o de microscopio óptico para calcular la proporción de porosidad con respecto al área de la sección transversal del recubrimiento, y la porosidad de los recubrimientos de molibdeno rociados suele ser inferior al 5%. El método de medición de la densidad utiliza el principio de Arquímedes para comparar la densidad real del recubrimiento con la densidad teórica e indirectamente calcula la porosidad. Los recubrimientos con una porosidad demasiado alta requieren un proceso de pulverización optimizado, como una mayor velocidad de pulverización o la tecnología HVOF.

8.3.4 Ensayo de resistencia a la corrosión y resistencia a altas temperaturas

La resistencia a la corrosión y la resistencia a altas temperaturas de los recubrimientos de molibdeno en aerosol son indicadores clave en entornos hostiles y se utilizan ampliamente en los campos aeroespacial, químico y energético. Las pruebas de corrosión y alta temperatura simulan las condiciones de uso del mundo real para evaluar la estabilidad a largo plazo del recubrimiento.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Copyright© 2024 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- 2024V
sales@chinatungsten.com

La prueba de resistencia a la corrosión adopta la prueba de niebla salina y la prueba de inmersión. La prueba de niebla salina (ASTM B117) coloca una muestra recubierta en una cámara de niebla de niebla salina y se expone a una alta concentración de niebla de cloruro de sodio para observar el tiempo de aparición de las manchas de corrosión. Las pruebas de inmersión implican la inmersión de la muestra en una solución ácida o alcalina (como ácido sulfúrico o hidróxido de sodio) y comprueba periódicamente el recubrimiento para detectar pérdida de calidad o cambios en la superficie. La inercia química de los recubrimientos de molibdeno los hace excelentes en una amplia gama de medios corrosivos, pero se debe prestar especial atención al efecto de la porosidad sobre la corrosión.

La prueba de resistencia a altas temperaturas se lleva a cabo mediante una prueba de oxidación a alta temperatura y una prueba de ciclo térmico. La prueba de oxidación a alta temperatura coloca la muestra de recubrimiento en un horno de alta temperatura (por ejemplo, 1000 °C) y se expone al aire o al oxígeno para medir el aumento de peso oxidativo o la pérdida de recubrimiento. Las pruebas de ciclos térmicos simulan la alternancia de entornos fríos y calientes, y se utilizan calentamientos y enfriamientos rápidos para evaluar la resistencia al choque térmico de los recubrimientos. Los resultados de las pruebas deben compararse con una norma (por ejemplo, ISO 20407) para garantizar que el recubrimiento cumpla con los requisitos de la aplicación.

8.3.5 Ensayo de rendimiento de choque térmico del recubrimiento

El rendimiento del choque térmico es un indicador importante de los recubrimientos de molibdeno rociados en entornos de ciclo de alta temperatura, especialmente en motores aeronáuticos y turbinas de gas. Las pruebas de choque térmico evalúan la resistencia de un recubrimiento al agrietamiento y al desconchado bajo cambios rápidos de temperatura.

Las pruebas de choque térmico generalmente se realizan utilizando el método de enfriamiento con agua o el método de circulación de aire caliente. En el método de enfriamiento con agua, una muestra de recubrimiento calentada a una temperatura alta (por ejemplo, 800 °C) se sumerge rápidamente en agua fría y se repite varias veces para observar grietas o desconchados. El método de circulación de aire caliente simula un entorno de ciclo térmico más realista a través del alto horno caliente y el sistema de enfriamiento, y registra el número de ciclos de falla del recubrimiento. Durante la prueba, la formación de grietas se puede monitorear en combinación con emisión acústica o imágenes infrarrojas para mejorar la precisión de la detección.

Los recubrimientos con malas propiedades de choque térmico requieren una optimización de la microestructura, como un recubrimiento en gradiente o un tratamiento térmico para reducir el desajuste de la expansión térmica. Los resultados de las pruebas proporcionan la base para el diseño de recubrimientos y la mejora de procesos, lo que garantiza su confiabilidad en entornos extremos.

8.4 Tecnología y equipos de ensayo

La tecnología y el equipo de inspección avanzados están en el corazón del control de calidad del alambre de pulverización de molibdeno, proporcionando capacidades de análisis de alta precisión, no destructivas y en tiempo real. Esta sección discutirá las técnicas y equipos de inspección de uso

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

común, incluido el análisis de fluorescencia de rayos X (XRF), la microscopía electrónica de barrido (SEM) y el análisis dispersivo de energía dispersiva (EDS), probadores de dureza, pruebas ultrasónicas y medidores de espesor láser, y otras tecnologías avanzadas.

8.4.1 Análisis de fluorescencia de rayos X (XRF)

El análisis de fluorescencia de rayos X (XRF) es una técnica de prueba no destructiva que se utiliza para analizar rápidamente la composición química de polvos de molibdeno, alambres de molibdeno y recubrimientos. El equipo XRF excita los átomos de muestra mediante la emisión de rayos X, registra la fluorescencia característica que emiten y analiza el tipo y el contenido de los elementos.

La ventaja de XRF es su velocidad y capacidades de análisis de múltiples elementos, lo que lo hace adecuado para detectar impurezas como hierro, níquel y cobre en polvos de molibdeno, así como la distribución elemental en recubrimientos. Los equipos XRF portátiles facilitan las pruebas in situ, mientras que los equipos de sobremesa ofrecen una mayor precisión para los análisis de laboratorio. El proceso de prueba requiere la calibración de muestras estándar para garantizar la precisión de los resultados. XRF es ampliamente utilizado en la producción de alambre de pulverización de molibdeno y cumple con los requisitos de normas como GB/T 15258-2009.

8.4.2 Microscopía electrónica de barrido (SEM) y análisis dispersivo de energía (EDS)

La microscopía electrónica de barrido (SEM) es el equipo principal para el análisis de microestructuras, que escanea la superficie de una muestra con un haz de electrones para producir imágenes de alta resolución. SEM es ampliamente utilizado para inspeccionar la topografía del polvo de molibdeno, los defectos superficiales del alambre de molibdeno y la estructura de la sección transversal de los recubrimientos, y puede identificar características como el tamaño de grano, la porosidad y las grietas.

La espectroscopía (EDS) se combina con el SEM para analizar la distribución y el contenido de los elementos mediante la detección de los rayos X característicos emitidos por una muestra. EDS es adecuado para verificar la distribución de impurezas en polvo de molibdeno, óxidos en la superficie del alambre de molibdeno o difusión elemental en la interfaz del recubrimiento. Las pruebas SEM/EDS se realizan en un entorno de alto vacío y la muestra debe ser conductora de electricidad (por ejemplo, chapada en carbono u oro) para evitar los efectos de carga.

La alta resolución y las capacidades de análisis elemental proporcionadas por SEM/EDS lo convierten en una herramienta indispensable para el control de calidad de los alambres de pulverización de molibdeno, tal y como exigen normas como la ASTM E1508.

8.4.3 Durómetro (Vickers, Rockwell)

Los probadores de dureza se utilizan para evaluar las propiedades mecánicas de los alambres y recubrimientos de molibdeno, reflejando su resistencia al desgaste y resistencia. El probador de dureza Vickers mide el tamaño de la indentación aplicando una pequeña carga a través del indentador de diamante y es adecuado para inspeccionar alambres finos de molibdeno y recubrimientos delgados. El probador de dureza Rockwell mide la profundidad de la indentación a

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

través de una bola de acero o un penetrador de diamante y es adecuado para alambres más gruesos o recubrimientos gruesos.

Las pruebas de dureza se llevan a cabo según una norma como ISO 6507 o ASTM E18 para garantizar la precisión de las mediciones de carga e indentación. Los resultados de las pruebas proporcionan la base para la optimización del proceso, por ejemplo, el ajuste de los parámetros de sinterización o pulverización para lograr el valor de dureza deseado. El probador de dureza es fácil de operar y es ampliamente utilizado en sitios de producción y laboratorios.

8.4.4 Ensayos ultrasónicos y medidores de espesor láser

Las pruebas ultrasónicas y los medidores de espesor láser son herramientas importantes para la inspección de la calidad del recubrimiento, la evaluación de defectos internos y el espesor de la superficie, respectivamente. Los detectores ultrasónicos detectan porosidad, grietas o descamación a través de la reflexión de las ondas sonoras en la interfaz entre el recubrimiento y el sustrato, lo que los hace adecuados para pruebas no destructivas. El equipo necesita calibrar las muestras estándar para garantizar la precisión de la velocidad del sonido y la señal reflejada.

Los medidores de espesor láser miden el espesor del recubrimiento a través del escaneo láser, lo que proporciona una inspección de alta precisión y sin contacto para piezas con geometrías complejas. La máquina es capaz de generar un mapa de espesor, identificar áreas de desniveles y optimizar el proceso de recubrimiento. La combinación de pruebas ultrasónicas y medidores de espesor láser proporciona una evaluación completa de la calidad del recubrimiento de acuerdo con normas como ASTM C633.

8.4.5 Otras tecnologías avanzadas de detección

Además del equipo mencionado anteriormente, la detección de alambre de pulverización de molibdeno también adopta una variedad de tecnologías avanzadas para mejorar la precisión y eficiencia de la detección. Por ejemplo:

Difracción de rayos X (XRD): se utiliza para analizar la estructura cristalina del polvo de molibdeno, el alambre de molibdeno y el recubrimiento, identificar la composición de la fase y el estado de tensión, y es adecuado para estudiar el rendimiento a alta temperatura de los recubrimientos.

Termografía infrarroja: Se utiliza para controlar la distribución de la temperatura durante el proceso de pulverización en tiempo real para evitar el sobrecalentamiento del sustrato o el recubrimiento desigual.

Detección de emisiones acústicas: Evalúe la durabilidad de un recubrimiento mediante el monitoreo de su señal acústica de microfisuras bajo choque térmico o estrés mecánico.

Microscopía de fuerza atómica (AFM): Proporciona topografía de superficie a escala nanométrica y análisis de rugosidad para la inspección de alta precisión de alambres y recubrimientos de molibdeno.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Estas tecnologías proporcionan una variedad de medios para el control de calidad del alambre de pulverización de molibdeno, combinado con métodos tradicionales, para satisfacer las necesidades de diferentes escenarios de aplicación.

8.5 Sistema de Gestión de Calidad

El sistema de gestión de calidad es el núcleo de la producción de alambre de pulverización de molibdeno, lo que garantiza la confiabilidad de los resultados de las pruebas y la capacidad de control del proceso de producción. Al establecer un proceso de gestión estandarizado, las empresas pueden lograr una mejora continua de la calidad y la satisfacción del cliente. Esta sección explorará la certificación de calidad ISO 9001, los informes de inspección y trazabilidad, y el análisis y mejora de defectos de calidad.

8.5.1 Certificación de calidad ISO 9001

ISO 9001 es una norma de sistema de gestión de calidad aceptada internacionalmente que proporciona un marco normativo para la producción de alambre de molibdeno recubierto. La norma requiere que las empresas establezcan un proceso integral de gestión de calidad, que abarque la adquisición de materias primas, el proceso de producción, las pruebas y el servicio posventa. La norma ISO 9001 hace hincapié en el cliente y en mejorar la calidad y la eficiencia del producto a través de la mejora continua.

En la producción de alambre de molibdeno recubierto, la norma ISO 9001 requiere el desarrollo de procedimientos operativos detallados (SOP) que aclaren las responsabilidades y estándares de cada enlace. Por ejemplo, la composición química de los polvos de molibdeno se prueba de acuerdo con procedimientos estandarizados de muestreo y análisis, y la prueba de adhesión de los recubrimientos en aerosol debe documentar todos los parámetros y resultados. La norma también exige auditorías internas periódicas y revisiones de la dirección para identificar problemas potenciales y desarrollar mejoras.

Las empresas que cuentan con la certificación ISO 9001 pueden aumentar su competitividad en el mercado y cumplir con los estrictos requisitos de industrias como la aeroespacial y la automotriz. El proceso de certificación es llevado a cabo por una organización externa para garantizar la objetividad y el cumplimiento de la gestión.

8.5.2 Informe de ensayo y trazabilidad

Los informes de pruebas y la trazabilidad son componentes importantes de la gestión de la calidad para garantizar que la calidad de cada lote de alambre de pulverización de molibdeno y su recubrimiento sea verificable. El informe de prueba debe registrar los resultados de la prueba de las materias primas, los alambres de molibdeno y los recubrimientos en detalle, incluida la composición química, el tamaño, el rendimiento y el análisis de defectos. El informe debe cumplir con los requisitos de formato de la norma (por ejemplo, GB/T 15258-2009) y estar firmado y fechado por el inspector.

La trazabilidad requiere el establecimiento de un registro de producción completo, que cubra cada paso del proceso, desde la adquisición del polvo de molibdeno hasta el producto de recubrimiento

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

terminado. A cada lote de alambre y recubrimiento de molibdeno se le asigna un número de identificación único que registra su fuente de materia prima, parámetros de producción, resultados de pruebas e información de fábrica. Las empresas modernas utilizan sistemas electrónicos de trazabilidad para gestionar los datos a través de códigos de barras o códigos QR, lo que garantiza una rápida recuperación e intercambio de información.

La trazabilidad no solo ayuda con el control de calidad, sino que también permite una rápida identificación de la causa de los problemas cuando ocurren. Por ejemplo, si el recubrimiento se está pelando, la calidad de la superficie del alambre de molibdeno o los parámetros del recubrimiento se pueden verificar mediante un sistema de trazabilidad para desarrollar medidas de mejora específicas.

8.5.3 Análisis y mejora de defectos de calidad

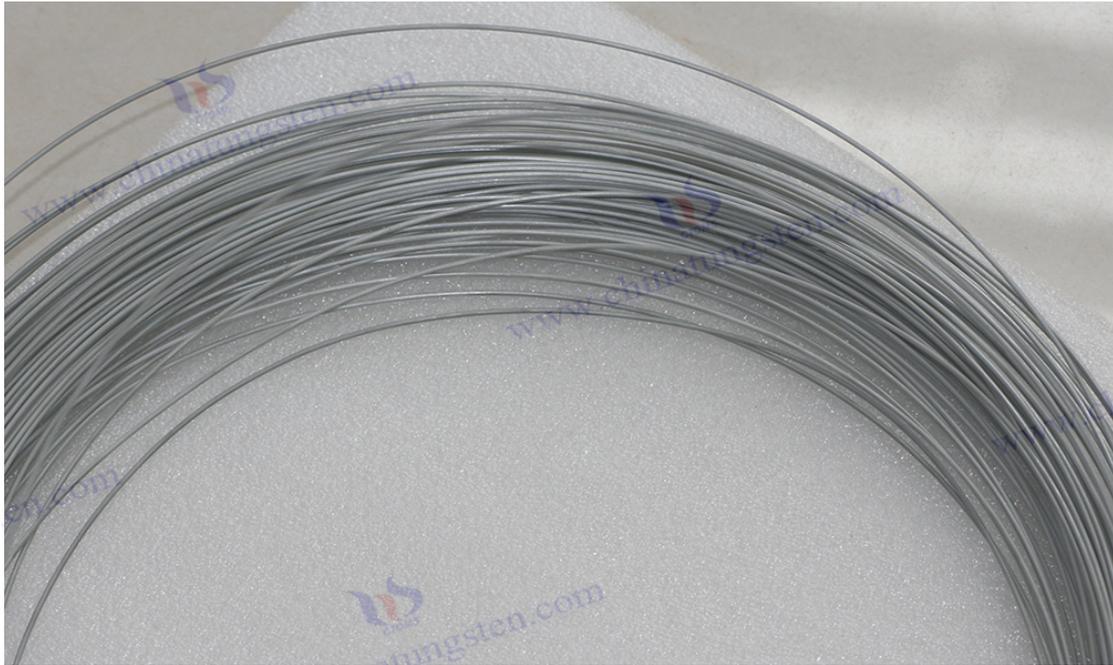
El análisis de defectos de calidad es la clave para la mejora continua, a través del análisis sistemático de las causas de los defectos, optimizar el proceso de producción y los métodos de inspección. Los defectos comunes incluyen grietas superficiales en los alambres de molibdeno, porosidad excesiva del recubrimiento y adherencia insuficiente, lo que requiere un análisis científico para identificar la causa raíz.

El análisis de defectos suele utilizar un diagrama de espina de pescado, 5W1H (Por qué, dónde, cuándo, quién, qué, cómo) y análisis modal de fallos y efectos (FMEA). El diagrama de espina de pescado divide las causas de los defectos en cinco categorías: hombre, máquina, material, método y entorno, y clasifica sistemáticamente los posibles factores que influyen. 5W1H localiza los escenarios y condiciones en los que se producen defectos a través de problemas específicos. FMEA evalúa el riesgo potencial de defectos y desarrolla medidas preventivas, como un mejor pretratamiento del sustrato o la optimización de los parámetros del recubrimiento.

Las mejoras deben probarse para garantizar su eficacia. Por ejemplo, si la porosidad de un recubrimiento es demasiado alta, intente aumentar la velocidad de pulverización o utilizar la tecnología HVOF y verifique la mejora a través del análisis SEM. Los resultados de mejora deben incorporarse a los SOP y a los planes de formación para evitar que se repitan los problemas.

El análisis y la mejora de defectos de calidad es un proceso dinámico de gestión de calidad y, a través de un enfoque basado en datos, las empresas pueden mejorar continuamente el rendimiento y la confiabilidad del alambre de pulverización de molibdeno para satisfacer la demanda del mercado.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



CTIA GROUP LTD alambre de pulverización de molibdeno

Capítulo 9 Tendencia de desarrollo y perspectivas futuras del alambre de pulverización de molibdeno

Como material importante de la tecnología de pulverización térmica, el alambre de pulverización de molibdeno ha desempeñado un papel insustituible en la industria aeroespacial, automotriz, energética y química. Con la transformación de la industria global en inteligente, ecológica y de alta gama, la tecnología, el mercado y la aplicación del alambre de pulverización de molibdeno están marcando el comienzo de nuevas oportunidades y desafíos. Este capítulo discutirá profundamente la tendencia de desarrollo técnico del alambre de pulverización de molibdeno, la demanda del mercado y la expansión de la aplicación, la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible, así como la perspectiva de intercambios técnicos y cooperación internacionales, y proporcionará una perspectiva sistemática para el desarrollo futuro de la industria.

9.1 Tendencia de desarrollo técnico del alambre de pulverización de molibdeno

El desarrollo tecnológico del alambre de pulverización de molibdeno se está moviendo hacia un mayor rendimiento, una mayor eficiencia y más inteligencia. La convergencia de nuevos materiales, nuevos procesos y tecnologías digitales ha revolucionado la tecnología de pulverización, permitiendo que el alambre de molibdeno y sus recubrimientos satisfagan las demandas de aplicaciones cada vez más complejas y exigentes. Esta sección se centrará en las tendencias de desarrollo de nuevos materiales y procesos de pulverización, producción inteligente y digital y tecnologías de recubrimiento compuesto.

9.1.1 Nuevos materiales y procesos de pulverización

El desarrollo de nuevos materiales y procesos de pulverización es la dirección clave para mejorar el rendimiento del alambre de pulverización de molibdeno. El alambre de molibdeno convencional se

[Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal](#)

basa en su alto punto de fusión, resistencia a la corrosión y excelentes propiedades mecánicas, pero un solo recubrimiento de molibdeno puede enfrentar limitaciones en algunos entornos extremos, como temperaturas ultra altas o corrosión fuerte. La introducción de nuevos materiales y procesos tiene como objetivo superar estas limitaciones y ampliar la gama de aplicaciones del alambre de molibdeno.

En cuanto a los materiales, los compuestos de matriz de molibdeno y los hilos de molibdeno dopados se han convertido en focos de investigación. Los compuestos de matriz de molibdeno mejoran significativamente la dureza, la resistencia al desgaste y la resistencia a la oxidación de los recubrimientos al agregar partículas cerámicas (por ejemplo, circonio, carburo de silicio) o elementos de tierras raras (por ejemplo, lantano, cerio) al molibdeno. Por ejemplo, el alambre de molibdeno dopado con óxido de lantano puede formar una capa protectora de óxido estable en la pulverización a alta temperatura, lo que prolonga la vida útil del recubrimiento. El desarrollo del polvo de molibdeno a nanoescala también ha aportado un gran avance en el proceso de pulverización, y el tamaño fino y la distribución uniforme de las nanopartículas hacen que el recubrimiento sea más denso y la porosidad se reduzca significativamente. La preparación de estos materiales a nanoescala se realiza a menudo mediante técnicas de deposición de vapor o aleación mecánica para garantizar una alta pureza y consistencia de las partículas.

En términos de proceso, las tecnologías de pulverización en frío y pulverización asistida por láser están evolucionando rápidamente. La pulverización en frío deposita partículas de molibdeno en la superficie del sustrato a través de corrientes de gas supersónico, evitando la oxidación y el estrés térmico causados por la fusión a alta temperatura, y es especialmente adecuada para sustratos sensibles al calor, como aleaciones de aluminio o polímeros. La pulverización asistida por láser, combinada con la alta densidad de energía del láser, controla con precisión la trayectoria de deposición de las gotas de fusión y la microestructura del recubrimiento, lo que da como resultado un recubrimiento más uniforme y una adhesión más fuerte. Además, los avances en las tecnologías de pulverización de llama supersónica (HVOF) y pulverización de plasma suspendido (SPS) también han proporcionado una mayor eficiencia de deposición y calidad de recubrimiento para la pulverización de alambre de molibdeno. Estos procesos logran una menor porosidad y una mayor fuerza de unión al optimizar el flujo de gas, la potencia de la fuente de calor y la velocidad de alimentación del alambre.

La combinación de nuevos materiales y procesos también está impulsando el desarrollo de recubrimientos funcionales. Por ejemplo, los recubrimientos autolubricantes a base de molibdeno están dopados con disulfuro de molibdeno o grafito, lo que reduce significativamente el coeficiente de fricción y es adecuado para piezas deslizantes de alta precisión; Los recubrimientos de barrera térmica a base de molibdeno se aplican a las palas de las turbinas de los motores aeronáuticos mediante la combinación de capas cerámicas para prolongar su vida útil a alta temperatura. Estas tendencias tecnológicas muestran que el alambre de molibdeno recubierto por pulverización está evolucionando de un solo material a una dirección multifuncional y personalizada, proporcionando una solución más flexible para aplicaciones de alta gama.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

CTIA GROUP LTD

Molybdenum Spray Wire Introduction

1. Overview of Molybdenum Spray Wire

Molybdenum spray wire is a high-purity molybdenum metal wire that is melted and deposited onto a substrate surface through thermal spray techniques such as flame spraying, plasma spraying, arc spraying, or HVOF (High Velocity Oxy-Fuel). The resulting coating offers excellent resistance to wear, corrosion, and high temperatures. Due to its high melting point and superior performance, molybdenum wire is widely used across various industrial sectors.

2. Characteristics of Molybdenum Spray Wire

High Melting Point: Approximately 2623°C, suitable for high-temperature environments.

Excellent Corrosion Resistance: Resists attack from acids, alkalis, and chemical media.

High Hardness & Wear Resistance: Tough coating that withstands mechanical wear.

Low Friction Coefficient: Reduces component wear and improves efficiency.

Chemical Stability: Maintains performance in harsh environments.

High Thermal Conductivity: Effectively dissipates heat and extends component lifespan.

3. Typical Uses of Molybdenum Spray Wire

Aerospace: Turbine blades, engine parts, thermal barrier coatings.

Automotive Industry: Wear-resistant coatings for piston rings, engine blocks, and brake discs.

Chemical & Energy Sectors: Corrosion-resistant pipelines, heat exchangers, wind power equipment.

Electronics & Semiconductors: Vacuum deposition heating wires, semiconductor leads.

Medical Field: Corrosion-resistant coatings for implants and surgical instruments.

Others: Marine anti-corrosion, wear-resistant construction machinery, high-temperature furnaces.

4. Basic Data of Molybdenum Spray Wire from CTIA GROUP LTD

Purity	≥99.95%
Density	10.2 g/cm ³
Diameter Range	1.0-3.0 mm, customizable
Tensile Strength	Moderate to ensure stable wire feeding
Packaging	Customized Packaging

5. Procurement Information

Email: sales@chinatungsten.com

Phone: +86 592 5129595; 592 5129696

Website: www.molybdenum.com.cn

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

9.1.2 Producción inteligente y digital

La producción inteligente y digital es una tendencia revolucionaria en la industria del alambre de pulverización de molibdeno, y la integración de la inteligencia artificial, el Internet de las cosas y el análisis de big data ha mejorado significativamente la eficiencia de la producción, el control de calidad y las capacidades de optimización de procesos. Los sistemas de recubrimiento inteligentes y los procesos de producción digitales están remodelando la forma en que se fabrica y utiliza el alambre de molibdeno.

El sistema de pulverización inteligente se basa en robots y sensores industriales, que pueden monitorizar y ajustar los parámetros de pulverización en tiempo real. El sistema de pulverización robotizado se adapta al sustrato con geometrías complejas a través del reconocimiento visual y la tecnología de planificación de trayectorias para garantizar la uniformidad del recubrimiento. El sensor recopila datos como la temperatura, la presión y la velocidad de alimentación del alambre en tiempo real, y optimiza dinámicamente los parámetros del proceso a través del sistema de control de retroalimentación. Por ejemplo, algunos equipos avanzados de pulverización de plasma son capaces de utilizar algoritmos de aprendizaje automático para predecir defectos de recubrimiento y ajustar automáticamente las distancias de pulverización o los caudales de gas para reducir las tasas de desecho.

La producción digital permite la conectividad de dispositivos y el intercambio de datos a través del Internet Industrial de las Cosas (IIoT). Cada equipo de la línea de producción (por ejemplo, máquina de trefilado, pistola de pulverización, detector) está equipado con un módulo de adquisición de datos que carga los parámetros del proceso y los datos de calidad en la plataforma en la nube. Las plataformas de análisis de datos, como los sistemas SCADA, permiten la supervisión en tiempo real de los procesos de producción para identificar posibles problemas y optimizar los procesos. Por ejemplo, el análisis de las fluctuaciones de tensión durante el trefilado del alambre de molibdeno puede realizar ajustes en las formulaciones de lubricantes o en los diseños de troqueles para mejorar la calidad del alambre. La producción digital también admite el mantenimiento remoto, lo que permite a los técnicos acceder al estado del equipo a través de la nube para diagnosticar rápidamente las fallas y reducir el tiempo de inactividad.

La inteligencia artificial (IA) desempeña un papel cada vez más importante en la optimización de procesos. Los algoritmos de IA analizan los datos históricos de producción para predecir la mejor combinación de parámetros del proceso y acortar los ciclos de prueba. Por ejemplo, en la pulverización HVOF, el modelo de IA puede recomendar la relación de combustible y la velocidad de inyección óptimas en función del tipo de sustrato y las necesidades de la aplicación, lo que mejora significativamente el rendimiento del recubrimiento. Además, la IA apoya la predicción de la calidad y reduce los riesgos de calidad mediante el análisis de los datos de inspección, como las imágenes SEM o los resultados de las pruebas de adhesión, para identificar los productos no conformes con antelación.

La tendencia de la producción inteligente y digital no solo ha mejorado la eficiencia de la producción, sino que también ha promovido la fabricación flexible. Las líneas de recubrimiento modernas

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

pueden cambiar rápidamente entre diferentes tamaños de alambre de molibdeno y tipos de recubrimiento para satisfacer las necesidades de lotes pequeños y pedidos personalizados. Este avance tecnológico permite a la industria del alambre de pulverización de molibdeno adaptarse mejor a los cambios del mercado y proporcionar productos de alto valor añadido para campos de alta gama como la aeroespacial y la automoción.

9.1.3 Tecnología de recubrimiento compuesto

La tecnología de recubrimiento compuesto mejora significativamente el rendimiento general del recubrimiento al combinarlo con otros materiales, como cerámica, metales o polímeros. El desarrollo de recubrimientos compuestos es una dirección importante de la tecnología de alambre de pulverización de molibdeno, que puede satisfacer las necesidades de aplicación de entornos multifuncionales y extremos.

El recubrimiento en gradiente es un tipo de tecnología de recubrimiento compuesto que reduce el desconchado causado por el estrés térmico mediante la introducción de una capa de transición entre el sustrato y el recubrimiento de molibdeno para suavizar la diferencia en el coeficiente de expansión térmica y la dureza. Por ejemplo, en las palas de las turbinas de los motores aeronáuticos, una capa aglutinante de aleación a base de níquel se combina con un recubrimiento de molibdeno y un recubrimiento de barrera térmica de circonio para formar una estructura de gradiente, lo que mejora significativamente la resistencia al choque térmico del recubrimiento. Los recubrimientos degradados generalmente se preparan utilizando un sistema de rociado de múltiples fuentes que logra un cambio gradual en la composición y el rendimiento mediante el control preciso de la tasa de deposición de diferentes materiales.

El recubrimiento multicapa es otra tecnología compuesta importante que optimiza el rendimiento de los recubrimientos al alternar la deposición de diferentes capas de material. Por ejemplo, los recubrimientos de molibdeno se depositan alternativamente con recubrimientos de alúmina, que brindan resistencia al desgaste y a la corrosión, lo que los hace adecuados para la protección de reactores químicos. La preparación de recubrimientos multicapa requiere un control preciso del espesor de cada capa y la unión interfacial, y los modernos equipos de pulverización de plasma logran una deposición eficiente de múltiples materiales a través del diseño de múltiples pistolas.

Los recubrimientos compuestos funcionalizados imparten propiedades especiales a los recubrimientos al doparlos con materiales funcionales. Por ejemplo, los recubrimientos de molibdeno dopados con nanotubos de carbono tienen una excelente conductividad y autolubricación, que son adecuados para partes deslizantes de alta velocidad de dispositivos electrónicos; El recubrimiento de molibdeno dopado con óxido de itrio mejora la resistencia a la oxidación a alta temperatura y es adecuado para álabes de turbinas de gas. El desarrollo de estos recubrimientos funcionales se basa en los avances en nanotecnología y tecnología de modificación de superficies para garantizar que el material dopado se distribuya uniformemente y se adhiera bien a la matriz de molibdeno.

Los desafíos de la tecnología de recubrimiento compuesto son la complejidad del proceso y el

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

control de costos. Los desarrollos futuros requieren equipos inteligentes y optimización de procesos para reducir los costos de producción y mejorar la consistencia y confiabilidad de los recubrimientos. La amplia aplicación de estas tecnologías promoverá la competitividad del mercado del alambre de pulverización de molibdeno en el campo de gama alta.

9.2 Demanda del mercado y expansión de la aplicación del alambre de pulverización de molibdeno

La demanda del mercado de alambre de pulverización de molibdeno está impulsada por la industrialización global y el desarrollo de tecnologías emergentes, y el campo de aplicación se está expandiendo rápidamente de las industrias tradicionales a las industrias emergentes. Esta sección analizará el potencial de aplicación de las industrias emergentes, así como las tendencias del mercado global para proporcionar una perspectiva de mercado para el desarrollo futuro del alambre de pulverización de molibdeno.

9.2.1 Potencial de aplicación en industrias emergentes

El rápido desarrollo de industrias emergentes como las energías renovables, los vehículos eléctricos, la fabricación aditiva y la biomedicina ha abierto nuevas oportunidades de aplicación para el alambre de pulverización de molibdeno. Estas industrias exigen un mayor rendimiento y versatilidad en recubrimientos de alto rendimiento, lo que impulsa la innovación y la expansión del mercado de la tecnología de alambre de molibdeno.

En el campo de las energías renovables, el alambre de molibdeno recubierto por pulverización se usa ampliamente como recubrimiento protector para equipos de generación de energía solar térmica y eólica. Los tubos colectores solares deben funcionar a altas temperaturas durante largos períodos de tiempo, y los recubrimientos de molibdeno mejoran la eficiencia y la durabilidad de la transferencia de calor a través de su alta conductividad térmica y resistencia a la oxidación. Las palas y los cojinetes de las turbinas eólicas están sujetos a la arena y la humedad del viento, y la resistencia al desgaste y la corrosión de los recubrimientos de molibdeno pueden prolongar significativamente su vida útil. A medida que crece la demanda mundial de energía limpia, el potencial de aplicación del alambre de molibdeno en equipos de energía renovable continuará expandiéndose.

El auge de la industria de los vehículos eléctricos (EV) ha creado un vasto mercado para el alambre de pulverización de molibdeno. El sistema de gestión de la batería y los componentes del motor de los vehículos eléctricos deben funcionar a altas temperaturas y altas corrientes, y el recubrimiento de molibdeno puede mejorar la conductividad y la resistencia al desgaste de los electrodos, prolongando la vida útil de los componentes. Además, el sistema de frenado de los vehículos eléctricos utiliza el frenado regenerativo, que requiere una mayor resistencia al desgaste de los discos de freno, y el recubrimiento de molibdeno satisface estas necesidades a través de su bajo coeficiente de fricción y alta dureza. El rápido crecimiento del mercado de vehículos eléctricos impulsará una mayor popularidad del alambre rociador de molibdeno en la industria automotriz.

La fabricación aditiva (impresión 3D) es otra área de aplicación emergente. Los recubrimientos de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

molibdeno se utilizan para proteger las boquillas y los moldes de los equipos de impresión 3D contra el desgaste y la corrosión causados por los materiales fundidos a alta temperatura. El alambre de molibdeno también se puede utilizar como materia prima para la impresión 3D para preparar piezas a base de molibdeno con formas complejas por deposición láser o plasma para aplicaciones aeroespaciales y médicas. Las altas exigencias de la fabricación aditiva en cuanto a las propiedades de los materiales y la flexibilidad de los procesos han impulsado la innovación tecnológica en el alambre de pulverización de molibdeno.

En el campo biomédico, los recubrimientos preparados por alambre de pulverización de molibdeno se aplican a la protección de superficies de implantes y herramientas quirúrgicas debido a su biocompatibilidad y resistencia a la corrosión. Por ejemplo, los recubrimientos de molibdeno en las articulaciones artificiales pueden reducir la corrosión de los fluidos y aumentar la vida útil de los implantes; El recubrimiento de molibdeno del bisturí mejora la precisión de corte gracias a su alta dureza y baja fricción. Con el avance de la medicina de precisión y el envejecimiento de la sociedad, los recubrimientos de molibdeno tienen amplias perspectivas de aplicación en dispositivos médicos.

El potencial de aplicación de estas industrias emergentes muestra que el alambre de pulverización de molibdeno se está transformando de una industria tradicional a un campo de alta tecnología. Las empresas necesitan aumentar la inversión en investigación y desarrollo y desarrollar productos personalizados para satisfacer las necesidades emergentes con el fin de aprovechar las oportunidades del mercado.

9.2.2 Análisis de tendencias del mercado global

El mercado mundial de alambre de pulverización de molibdeno se ve afectado por el proceso de industrialización, la economía regional y la orientación política, lo que muestra una tendencia de desarrollo diversificado. China, la Unión Europea, América del Norte y Asia-Pacífico son los principales mercados, con diferentes características de mercado e impulsores de la demanda en cada región.

China es el mayor productor y consumidor mundial de recursos de molibdeno, y el mercado de alambre de pulverización de molibdeno se beneficia del rápido desarrollo de la fabricación nacional y la construcción de infraestructuras. Los equipos aeroespaciales, automotrices y energéticos son las principales áreas de demanda del mercado chino, y las políticas nacionales, como el objetivo de "neutralidad de carbono", han promovido el desarrollo de las industrias de energía renovable y vehículos eléctricos, ampliando aún más la demanda de alambre de molibdeno. Las empresas chinas han ocupado una posición importante en el mercado global a través de la actualización tecnológica y la optimización de costos.

El mercado de la UE se caracteriza por aplicaciones de alta gama y requisitos medioambientales, siendo las industrias aeroespacial y automovilística las principales fuentes de demanda. Las normativas de fabricación ecológica de la Unión Europea, como REACH y RoHS, exigen a las empresas que adopten procesos de pulverización poco contaminantes, lo que impulsa el desarrollo de tecnologías de pulverización en frío y recubrimiento de molibdeno verde. Las empresas europeas

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

están liderando el camino en innovación tecnológica y estándares de calidad, centrándose en la cooperación técnica con el mercado internacional.

El mercado norteamericano está dominado por las industrias aeroespacial y energética, y la demanda de recubrimientos de alto rendimiento en los EE. UU. continúa creciendo, especialmente en turbinas de gas y equipos de petróleo y gas de aguas profundas. Las empresas norteamericanas están liderando el camino en la tecnología de pulverización de plasma y HVOF, haciendo hincapié en el desarrollo y la aplicación de equipos inteligentes. La política de relocalización manufacturera del gobierno de EE. UU. ha inyectado nueva vitalidad al mercado regional.

Asia-Pacífico, particularmente India, Japón y Corea del Sur, es un mercado de rápido crecimiento, con la expansión en las industrias de electrónica automotriz, energía renovable y construcción naval que impulsan la demanda de alambre de molibdeno. La ventaja de bajo costo del mercado indio lo ha convertido en un centro emergente de procesamiento de alambre de molibdeno, mientras que Japón y Corea del Sur se centran en aplicaciones de alta precisión en las industrias de semiconductores y pantallas. El avance de la integración económica regional, como la RCEP, ha facilitado el intercambio de tecnología y recursos en el mercado de Asia-Pacífico.

Las tendencias del mercado global indican que la demanda de alambre de pulverización de molibdeno seguirá creciendo, especialmente en los segmentos emergentes y de gama alta. Las empresas deben prestar atención a las necesidades diferenciadas de los mercados regionales y mejorar la cobertura del mercado a través de la producción localizada y la optimización de la cadena de suministro global. Al mismo tiempo, es necesario abordar el riesgo de las barreras al comercio internacional y las fluctuaciones de los precios de las materias primas mediante la diversificación de las adquisiciones y la cooperación estratégica.

9.3 Protección del medio ambiente y desarrollo sostenible de la fumigación

La protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible es una importante dirección de desarrollo de la industria de fumigación de molibdeno, y el concepto de tecnología verde y economía circular está afectando profundamente el modo de producción y la selección del proceso. La reducción de la contaminación ambiental, la mejora de la utilización de los recursos y la promoción de la producción baja en carbono son desafíos comunes que enfrenta la industria. En esta sección se analizarán las tecnologías de fumigación verde y los sistemas de gestión ambiental.

Tecnología de pulverización ecológica

La tecnología de pulverización ecológica tiene como objetivo reducir las emisiones contaminantes y el consumo de energía durante el proceso de pulverización, y alcanzar los objetivos medioambientales mediante la innovación de procesos y la actualización de equipos. El desarrollo de la tecnología de pulverización ecológica proporciona una solución a los problemas que las técnicas tradicionales de pulverización térmica, como la pulverización con llama, pueden producir gases de escape, polvo y ruido.

La tecnología de pulverización en frío es una tecnología verde típica, que evita las emisiones de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

óxido y el desperdicio de energía térmica causado por la alta temperatura al inyectar partículas de molibdeno a baja temperatura y alta velocidad. El equipo de pulverización en frío utiliza un sistema de circulación de gas eficiente que reduce la cantidad de helio o nitrógeno utilizado y reduce los costos operativos. El bajo aporte de calor de la pulverización fría lo hace adecuado para manejar sustratos sensibles al calor y reducir la generación de desechos, lo que lo hace ampliamente utilizado en las industrias automotriz y electrónica.

Los equipos de pulverización de bajas emisiones son el foco del desarrollo ecológico. Los modernos sistemas de pulverización de plasma y HVOF están equipados con unidades de tratamiento de gases de escape que eliminan gases nocivos como el dióxido de azufre o los óxidos de nitrógeno mediante la tecnología de filtración y adsorción, lo que garantiza el cumplimiento de las normas de emisiones (por ejemplo, REACH de la UE). Los sistemas de combustión eficientes reducen las emisiones de carbono al tiempo que mejoran la eficiencia energética al optimizar la relación entre el combustible y el oxígeno. Algunos equipos de pulverización de última generación también integran sistemas de recuperación de calor que utilizan el calor residual para precalentar el sustrato o para calentar, reduciendo el consumo de energía.

La introducción de la tecnología de limpieza a base de agua también ha promovido el desarrollo de la fumigación verde. Los procesos de limpieza convencionales utilizan disolventes orgánicos, que pueden producir contaminación por compuestos orgánicos volátiles (COV). Los limpiadores a base de agua son muy eficaces para eliminar el aceite y los óxidos de la superficie del alambre de molibdeno mediante formulaciones biodegradables y tecnología de limpieza ultrasónica, lo que reduce el impacto medioambiental. La aplicación integral de estas tecnologías verdes hace que la producción de alambre de pulverización de molibdeno sea más respetuosa con el medio ambiente y cumpla con los requisitos del desarrollo sostenible global.

Recuperación y reciclaje de chatarra

La recuperación y el reciclaje de residuos son una parte importante del desarrollo sostenible de la industria del alambre de pulverización de molibdeno. Como metal raro, el molibdeno tiene recursos limitados, y el reciclaje puede reducir los costos de producción y reducir la carga ambiental. Las salpicaduras, los filamentos de desecho y los recubrimientos viejos del proceso de pulverización son los principales objetos de reciclaje.

La recuperación de partículas por salpicaduras se logra a través de un sistema de recolección dedicado. Los modernos equipos de pulverización están equipados con colectores de polvo y filtros para capturar y separar las partículas de molibdeno que se escapan durante el proceso de pulverización. Estas partículas se tamizan y purifican y se pueden reutilizar para la pulverización o la producción de polvo de molibdeno. La eficiencia del sistema de reciclaje tiene un impacto directo en la utilización de los recursos, y los equipos de última generación son capaces de recuperar hasta el 90% de las partículas de salpicaduras.

El reciclaje de filamentos de desecho y recubrimientos viejos se realiza mediante métodos químicos o mecánicos. El alambre residual se purifica por fundición o electrólisis y se convierte en polvo de

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

molibdeno de alta pureza, que se vuelve a introducir en el proceso de producción. El reciclaje de recubrimientos viejos generalmente utiliza técnicas de arenado o decapado químico para separar el recubrimiento del sustrato, y el material de molibdeno recuperado se tritura y purifica antes de ser reutilizado. El proceso de reciclaje requiere un control estricto de la introducción de impurezas para garantizar que la calidad del material reciclado cumpla con la norma (por ejemplo, GB/T 3462-2017).

El establecimiento de un sistema de reciclaje requiere la cooperación de las fases anteriores y posteriores de la cadena industrial. Los procesadores de molibdeno y los proveedores de servicios de fumigación deben establecer una red de reciclaje para recolectar y procesar los desechos de manera unificada. Empresas líderes, como H.C. Starck, han desarrollado sistemas de reciclaje de circuito cerrado que convierten los residuos directamente en materias primas, reduciendo significativamente el consumo de recursos. El apoyo político también ha contribuido al desarrollo de una economía circular, como la Ley de Promoción de la Economía Circular de China, que alienta a las empresas a adoptar tecnologías de reciclaje y reducir el desperdicio de metales raros.

El reciclaje de residuos y el reciclaje no solo reduce los costos de producción, sino que también mejora la imagen de responsabilidad social de la empresa. En el futuro, la industria necesita mejorar aún más las tecnologías y los estándares de reciclaje para promover el uso sostenible de los recursos de molibdeno.

9.4 Intercambio técnico internacional y cooperación de alambre de pulverización de molibdeno

Los intercambios técnicos y la cooperación internacionales son las fuerzas impulsoras clave para el desarrollo de la industria del alambre de pulverización de molibdeno, que promueve la innovación tecnológica, la unificación de estándares y la globalización del mercado. A través de la investigación y el desarrollo transfronterizos, la colaboración de la industria y las conferencias internacionales, las industrias pueden compartir recursos, resolver problemas comunes e impulsar el avance tecnológico. En esta sección se explorarán las perspectivas de la armonización de las normas técnicas internacionales y la colaboración transfronteriza en investigación y desarrollo y en la industria.

9.4.1 Armonización de las normas técnicas internacionales

La unificación de las normas técnicas internacionales proporciona una base para el comercio mundial y el intercambio técnico de alambre de pulverización de molibdeno, y reduce las barreras técnicas causadas por las diferencias de las normas. En la actualidad, los estándares para el alambre de pulverización de molibdeno están dominados principalmente por ISO, ASTM y los sistemas GB / T chinos, pero existen diferencias en la composición química, los métodos de prueba y los requisitos de aplicación entre los estándares, lo que afecta la compatibilidad de los mercados multinacionales.

Las normas ISO, como la ISO 14919 y la ISO 20407, son el núcleo de la armonización de las normas técnicas internacionales y cubren los requisitos de rendimiento de los alambres y recubrimientos

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

para la pulverización. Estos estándares han sido desarrollados por expertos de varios países y reflejan el consenso técnico de la industria global. Por ejemplo, la norma ISO 14919 especifica las tolerancias dimensionales y la calidad de la superficie para el alambre de molibdeno recubierto por pulverización, que es ampliamente reconocido en la Unión Europea, América del Norte y la región de Asia-Pacífico. En el futuro, ISO tendrá que ampliar aún más la cobertura de las normas para incluir especificaciones para las tecnologías emergentes (por ejemplo, pulverización en frío, nanorecubrimiento) para adaptarse a los desarrollos de la industria.

Las normas ASTM, como la ASTM B387-18, tienen un impacto significativo en el mercado norteamericano, y sus requisitos de alta precisión son adecuados para aplicaciones de alta gama como la aeroespacial. En comparación con el estándar chino GB/T, ASTM tiene especificaciones más estrictas para el contenido de impurezas y los métodos de detección. Los esfuerzos por armonizar las normas requieren la armonización de las normas ISO y ASTM para elaborar especificaciones más compatibles. Por ejemplo, ASTM y GB/T pueden simplificar el proceso de certificación transfronteriza al armonizar la composición química y los métodos de prueba de propiedades mecánicas del alambre de molibdeno a través de acuerdos bilaterales de reconocimiento mutuo.

El papel de China en el establecimiento de normas internacionales es cada vez mayor. Las empresas nacionales (por ejemplo, Chinatungsten High-tech) participan activamente en los comités técnicos de ISO para promover la integración de las normas GB/T (por ejemplo, GB/T 4181-2017) con las normas internacionales. La unificación de estándares no solo promueve los intercambios técnicos, sino que también mejora la competitividad de las empresas chinas en el mercado global. En el futuro, la industria necesita fortalecer la cooperación multilateral, acelerar la revisión y promoción de estándares y construir un marco técnico unificado global para el alambre de pulverización de molibdeno.

9.4.2 Investigación y desarrollo transfronterizos y colaboración industrial

La investigación y el desarrollo transnacionales y la cooperación industrial son una forma importante de innovar la tecnología de alambre de molibdeno en la pulverización de molibdeno, lo que acelera el desarrollo de nuevos materiales y procesos a través del intercambio de recursos y experiencia. Las colaboraciones adoptan la forma de laboratorios conjuntos, licencias tecnológicas, alianzas industriales y conferencias internacionales.

El laboratorio conjunto es la plataforma central para la investigación y el desarrollo transfronterizos. Por ejemplo, la Academia China de Ciencias ha cooperado con el Instituto Fraunhofer de Alemania para establecer un laboratorio conjunto de tecnología de pulverización térmica, centrado en la investigación de recubrimientos compuestos a base de molibdeno y la tecnología de pulverización en frío. Al compartir equipos y datos, estos laboratorios resuelven los desafíos técnicos de la oxidación a alta temperatura y el rendimiento de choque térmico de los recubrimientos de molibdeno. El laboratorio conjunto también ha cultivado talentos internacionales y ha proporcionado reservas técnicas para el desarrollo de la industria.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

La concesión de licencias de tecnología es una forma común de colaboración con la industria. Las empresas europeas han promovido la modernización tecnológica del mercado regional mediante la concesión de licencias de tecnología de producción de alambre de molibdeno a empresas asiáticas. La concesión de licencias de tecnología va acompañada de un estricto control de calidad para garantizar que el rendimiento de los productos licenciados cumpla con los estándares. Este modelo de colaboración reduce el costo de la difusión de la tecnología al tiempo que amplía el alcance del mercado de las empresas.

La alianza de la industria ha promovido la aplicación a gran escala de alambre de pulverización de molibdeno mediante la integración de recursos de la cadena industrial. Por ejemplo, la Conferencia Internacional de Pulverización Térmica organizada conjuntamente por la Sociedad Americana de Pulverización Térmica (ASM TSS) y el Grupo Nacional de Colaboración de Pulverización Térmica de China proporciona una plataforma para que las empresas intercambien tecnología y se conecten con el mercado. La alianza también coordina la colaboración de proveedores de materias primas, fabricantes de equipos y proveedores de servicios de recubrimiento para optimizar la cadena de suministro global.

Las conferencias y exposiciones internacionales, como la Conferencia Internacional de Pulverización Térmica del ITSC, son canales importantes para el intercambio técnico, ya que reúnen a expertos y empresas de todo el mundo para mostrar lo último en tecnología de alambre de pulverización de molibdeno. La conferencia facilitó proyectos de cooperación transfronteriza a través de presentaciones técnicas, seminarios y exposiciones. Por ejemplo, la conferencia ITSC de 2024 se centró en la pulverización inteligente y la tecnología verde, señalando la dirección para el desarrollo futuro de la industria del alambre de molibdeno.

El desafío de la investigación y el desarrollo transfronterizos y la colaboración industrial radica en la protección de la propiedad intelectual y las diferencias culturales. En el futuro, la industria necesita establecer un mecanismo de cooperación más transparente para equilibrar los intereses de todas las partes a través del intercambio de patentes y la presentación conjunta. Al mismo tiempo, fortalecer la capacitación de talentos y los intercambios culturales, mejorar la eficiencia de la colaboración y promover el desarrollo global de la tecnología de alambre de pulverización de molibdeno.

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal



CTIA GROUP LTD alambre de pulverización de molibdeno

Apéndice

A. Glosario

Alambre de pulverización de molibdeno: Un material que utiliza alambre de molibdeno de alta pureza como materia prima para formar un recubrimiento funcional en la superficie del sustrato mediante la tecnología de pulverización térmica.

Pulverización térmica : Proceso de fundir o semifundir un material por calor y rociarlo sobre la superficie de un sustrato para formar un recubrimiento.

Pulverización de plasma: Una tecnología de pulverización a alta temperatura que utiliza el flujo de llama de plasma como fuente de calor.

Pulverización con llama : Un método de pulverización que utiliza una llama ardiente como fuente de calor.

Pulverización por arco : Una técnica que derrite los alambres metálicos mediante un arco y rociándolos sobre la superficie de un sustrato.

Oxi-Pulverización de alta velocidad (HVOF): Una tecnología de pulverización que utiliza gas de combustión de alta velocidad para inyectar materiales fundidos.

Adherencia del recubrimiento : La fuerza de la unión entre el recubrimiento y el sustrato, generalmente evaluada mediante pruebas de tracción o cizallamiento.

Porosidad del recubrimiento : La relación de volumen de los poros en el recubrimiento, que afecta el rendimiento del recubrimiento.

Resistencia a la corrosión : La capacidad de un material para resistir la corrosión química o galvánica.

Resistencia a la abrasión : La capacidad de la superficie de un material para resistir el desgaste mecánico.

Polvo de molibdeno : partículas de molibdeno de alta pureza preparadas por reducción química o

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

métodos físicos.

Pulvimetalurgia: Proceso de preparación de materiales mediante prensado y sinterización de polvos metálicos.

Proceso de trefilado: El proceso de procesar barras de metal en filamentos a través de troqueles de trefilado.

Activación superficial: Un tratamiento que mejora la actividad superficial del alambre de molibdeno por métodos químicos o físicos.

Análisis de fluorescencia de rayos X (XRF): Técnica de análisis espectroscópico utilizada para detectar la composición elemental de los materiales.

Microscopía electrónica de barrido (SEM): Técnica de microscopía utilizada para observar la morfología y estructura microscópicas de los materiales.

Espectroscopía de energía (EDS): Técnica utilizada en combinación con SEM para analizar la distribución elemental de los materiales.

Tratamiento térmico : El proceso de mejorar las propiedades de un material mediante el control del proceso de calentamiento y enfriamiento.

Fabricación ecológica: Un método de producción con el objetivo de ahorrar energía, reducir las emisiones y proteger el medio ambiente.

B. Referencias

- [1] Chinatungsten en línea. Biblioteca de tungsteno-molibdeno.
- [2] China Tungsteno. Fundada en 1986, bimestral.
- [3] Instituto de Investigación de Metales, Academia China de Ciencias. Avances en la investigación de recubrimientos a base de molibdeno.
- [4] Tecnologías de superficie de Praxair. Folleto de recubrimiento por pulverización térmica.
- [5] GB/T 4181-2017 Alambre de molibdeno. Administración de Normalización de China.
- [6] GB/T 3462-2017 "Barras de molibdeno y espacios en blanco de molibdeno". Administración de Normalización de China.
- [7] ASTM B387-18 «Especificación estándar para barras, varillas y alambres de molibdeno y aleaciones de molibdeno» . ASTM Internacional.
- [8] ISO 14919 «Pulverización térmica - Alambres, varillas y cordones para pulverización con llama y arco» . Organización Internacional de Normalización.
- [9] ISO 20407 «Cerámica fina - Método de prueba para la resistencia a la tracción y al cizallamiento interfacial» . Organización Internacional de Normalización.
- [10] Revista de Ciencia de los Materiales. Tendencias en recubrimientos por pulverización térmica.
- [11] Tecnología de superficies y recubrimientos. Avances en pulverización en frío y sistemas de pulverización inteligentes.
- [12] Conferencia Internacional de Pulverización Térmica (ITSC). Actas 2024.
- [13] ISO 9001:2015 «Sistemas de gestión de calidad - Requisitos» . Organización Internacional de Normalización.
- [14] ISO 14001:2015 «Sistemas de gestión ambiental - Requisitos» . Organización Internacional de Normalización.
- [15] Reglamento REACH de la UE. Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas.
- [16] Ley de Promoción de la Economía Circular de China. Comisión Nacional de Desarrollo y

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal

Reforma.

[17] Instituto de Investigación de Metales, Academia China de Ciencias. Avances en la investigación de recubrimientos a base de molibdeno.

[18] ASTM C633. Método de prueba estándar para la adhesión o cohesión de recubrimientos de pulverización térmica.

[19] ISO 4287. Especificación geométrica del producto (GPS) - Textura de la superficie.

[20] Revista de Tecnología de Pulverización Térmica. Recubrimientos de molibdeno: propiedades y aplicaciones.

.en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

Declaración de Derechos de Autor y Responsabilidad Legal