

Carburo cementado de tungsteno

Exploración integral de propiedades físicas y químicas, procesos y aplicaciones (I)

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

INTRODUCCIÓN A CTIA GROUP

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

En los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha creado más de 200 sitios web profesionales multilingües sobre tungsteno y molibdeno, disponibles en 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 artículos, atendiendo a casi 100.000 seguidores y proporcionando información gratuita a diario a cientos de miles de profesionales del sector en todo el mundo. Con miles de millones de visitas acumuladas a su sitio web y cuenta oficial, se ha convertido en un centro de información global y de referencia para las industrias del tungsteno, el molibdeno y las tierras raras, ofreciendo noticias multilingües, rendimiento de productos, precios de mercado y servicios de tendencias del mercado 24/7.

Basándose en la tecnología y la experiencia de CHINATUNGSTEN ONLINE, CTIA GROUP se centra en satisfacer las necesidades personalizadas de los clientes. Utilizando tecnología de IA, diseña y produce en colaboración con los clientes productos de tungsteno y molibdeno con composiciones químicas y propiedades físicas específicas (como tamaño de partícula, densidad, dureza, resistencia, dimensiones y tolerancias). Ofrece servicios integrales de proceso completo que abarcan desde la apertura del molde y la producción de prueba hasta el acabado, el embalaje y la logística. Durante los últimos 30 años, CHINATUNGSTEN ONLINE ha proporcionado servicios de I+D, 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. Con esta base, CTIA GROUP profundiza aún más en la fabricación inteligente y la innovación integrada de materiales de tungsteno y molibdeno en la era del Internet Industrial.

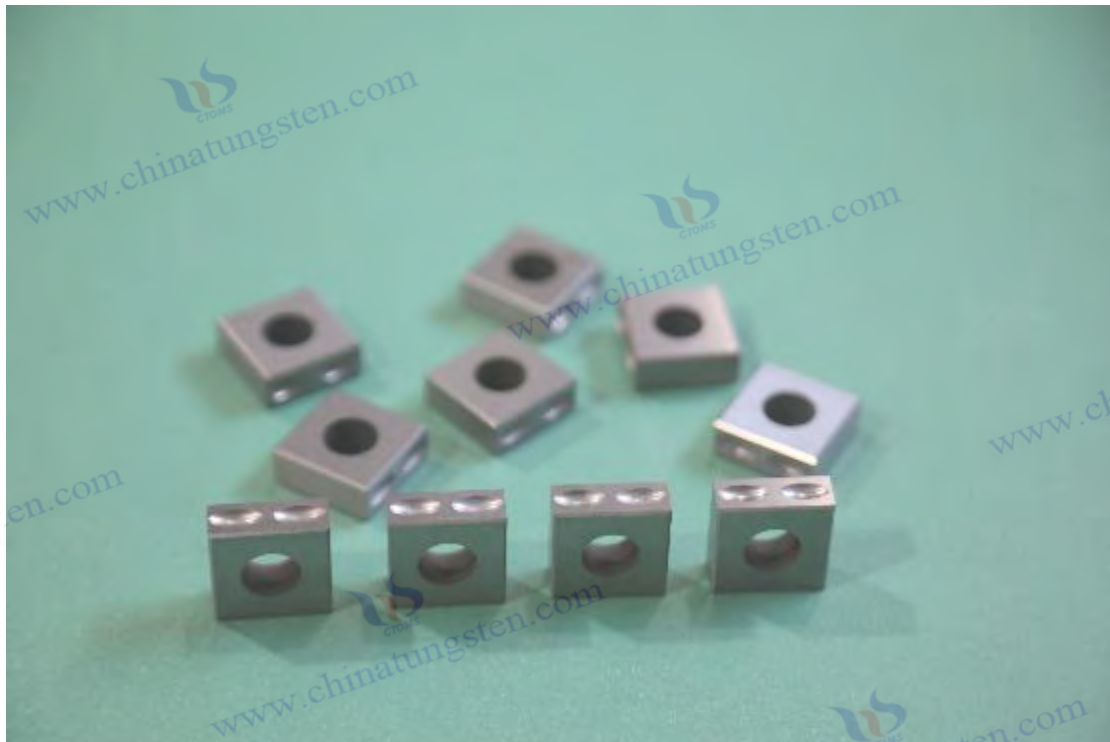
El Dr. Hanns y su equipo en CTIA GROUP, con más de 30 años de experiencia en la industria, han escrito y publicado análisis de conocimiento, tecnología, precios del tungsteno y tendencias del mercado relacionados con el tungsteno, el molibdeno y las tierras raras, compartiéndolos libremente con la industria 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 la 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. Fiel 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 las prácticas de producción y las necesidades de los clientes del mercado, obteniendo amplios elogios en la industria. Estos logros brindan un sólido respaldo a la innovación tecnológica, la promoción de productos y los intercambios industriales de CTIA GROUP, impulsándolo a convertirse en un líder en la fabricación de productos de tungsteno y molibdeno y en servicios de información a nivel mundial.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Secuencia

Alta entropía de carburo cementado impulsada por IA
Y la tendencia de evolución del número de lote de grado de carburo cementado
La tendencia evolutiva de la IA impulsada
Carburo cementado de alta entropía (HECC) y
Grado de carburo cementado específico del lote (BSCCG)

1. Introducción

El carburo cementado se compone principalmente de carburo de tungsteno (WC), combinado con cobalto, níquel (Ni) y otras fases aglutinantes. Gracias a sus excelentes propiedades mecánicas (dureza 1500-2200 HV, resistencia al desgaste $<0,05 \text{ mm}^3/\text{h}$) y estabilidad química (resistencia a la corrosión $<0,02 \text{ mm/año}$, pH 2-12), se utiliza ampliamente en la industria aeroespacial, la fabricación de precisión, las nuevas energías y la tecnología de vanguardia. El rápido desarrollo de la inteligencia artificial (IA), el internet industrial, la transmisión de datos de alta velocidad 5G/6G y la tecnología de big data/computación en la nube han impulsado el diseño y la clasificación de grados de carburo cementado, impulsando especialmente el desarrollo del "carburo cementado de alta entropía (HECC)" y el "grado de carburo cementado específico para cada lote (BSCCG)". Estos conceptos fueron propuestos inicialmente por CTIA GROUP LTD, entre los que se encuentran la alta entropía que supera el límite de rendimiento mediante el diseño de aleaciones multicomponente, y la dosificación logra una personalización personalizada mediante la optimización dinámica. Este artículo ha sido escrito por un equipo de expertos de China Tungsten Online, con 30 años de experiencia en la industria de materiales a base de tungsteno, centrados en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

el diseño y la producción a medida. Se centra en la tendencia de desarrollo de la alta entropía y la dosificación de carburo cementado impulsada por IA, analiza su mecanismo técnico y sus características, y combina conectores eléctricos aeroespaciales, procesamiento de microagujeros en moldes de precisión, placas bipolares para pilas de combustible y futuros casos de ciencia y tecnología de vanguardia para explorar la adaptabilidad del rendimiento y... perspectivas de aplicación y evaluar los desafíos relacionados y los caminos de innovación.

Actualmente, la industria del carburo cementado se enfrenta al reto de sistemas de grados complejos. Distintas empresas de carburo cementado cuentan con sus propios sistemas de grados. Asimismo, existen estándares de grado aceptados internacionalmente (como la clasificación ISO 513). Países europeos, americanos, japoneses y coreanos también han desarrollado sus propias especificaciones de grado, como ANSI en Estados Unidos, JIS en Japón y DIN en Alemania. Si bien esta diversidad se debe a la confidencialidad técnica y a las necesidades personalizadas, genera dificultades para el mercado y los clientes. Las diferencias de grados dificultan la adaptación a la demanda y dificultan la optimización de la coordinación entre el rendimiento y la capacidad de producción, lo que limita la tendencia de desarrollo del carburo cementado personalizado. La alta entropía del carburo cementado sienta las bases técnicas para la dosificación de grados, mejorando el límite de rendimiento. A su vez, la dosificación ajusta dinámicamente la fórmula para adaptarse a las necesidades cambiantes en tiempo real y a la retroalimentación de datos de la aplicación en el ecosistema de la tecnología de IA, lo que guía la personalización completa de ingredientes, parámetros de proceso, empaquetado y transporte en la fase de producción. Ambos están estrechamente relacionados y promueven conjuntamente la industria del carburo cementado para avanzar hacia la inteligencia y la personalización.

2. Antecedentes técnicos

2.1 Aplicación de la inteligencia artificial en el diseño de materiales

admite alta entropía y diseño por lotes de carburo cementado a través de aprendizaje automático (ML), aprendizaje profundo (DL) y modelos generativos (como Generative Adversarial Networks, GAN). La IA procesa conjuntos de datos multidimensionales (como tamaño de grano $0,1-10\ \mu\text{m}$, relación de fase de enlace 6-20%, parámetros de trabajo) y predice indicadores de rendimiento (como error de dureza $<5\%$, tenacidad $1020\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, resistencia a la corrosión $<0,02\ \text{mm/a}$). Por ejemplo, la fórmula WC-Co se optimiza en función de redes neuronales convolucionales y el ciclo de I+D se acorta en un 60%. La IA generativa genera fórmulas de aleación de alta entropía a partir de datos históricos (como bibliotecas WCCo y WCNi) y optimiza la resistencia al desgaste a alta temperatura en un 15%. El gráfico de conocimiento integra datos de la cadena industrial (como la pureza del polvo de tungsteno del 99,9% al 99,95%, los parámetros del proceso) para lograr una optimización de circuito cerrado, mejorar la eficiencia y sentar las bases para el diseño de lotes y alta entropía.

2.2 Internet industrial e interacción de datos en tiempo real

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

construye un ecosistema basado en datos a través de sensores de Internet de las cosas (IoT), computación de borde y computación en la nube. Los sensores recopilan parámetros (como temperatura de sinterización $1350\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, presión 100-150 MPa), la computación de borde procesa datos de alta frecuencia (tamaño de grano $0,1\text{-}0,5\text{ }\mu\text{m}$, 1 Hz) y la computación en la nube admite análisis masivos. Esta interacción en tiempo real hace que la producción sea transparente y admite ajustes dinámicos (como atmósfera de H_2 5-10 %, punto de rocío, etc.). En la colaboración de la cadena industrial, los proveedores proporcionan tamaño de partícula de polvo de tungsteno (como D50 $0,1\text{-}0,3\text{ }\mu\text{m}$), los fabricantes optimizan los procesos y los usuarios retroalimentan las condiciones de trabajo (como velocidad de corte 200 m/min), acortando la respuesta de la cadena de suministro en un 20% y proporcionando soporte de datos para la producción por lotes.

2.3 Empoderamiento colaborativo de las redes 5G/6G

Las redes 5G (latencia $<1\text{ ms}$, ancho de banda $>10\text{ Gbps}$) y las redes 6G (latencia $<0,1\text{ ms}$, ancho de banda $>100\text{ Gbps}$) que se comercializarán en 2030 proporcionan una comunicación eficiente. 5G/6G admite el intercambio de datos en la cadena industrial, como los proveedores que cargan datos de lotes, los fabricantes que retroalimentan curvas de sinterización ($1400\text{ }^{\circ}\text{C}$, 10^{-3} Pa , tiempo de sinterización, etc.) y los usuarios que proporcionan condiciones de trabajo ($50\text{ }^{\circ}\text{C}\text{-}800\text{ }^{\circ}\text{C}$, 100 MPa). Esta comunicación de baja latencia permite que la IA optimice rápidamente fórmulas de aleación de alta entropía (como WC-10 % Co + 0,2 % TaC) o ajustes de lotes, y el diseño colaborativo interregional acorta los ciclos de entrega en un 25-30 %, lo que mejora la eficiencia de la implementación de alta entropía y lotes.

Soporte computacional para big data y computación en la nube

Big data integra datos internos (registros de producción, resultados de pruebas) y externos (tendencias del mercado, estándares ISO 45001) para proporcionar materiales para el entrenamiento de IA. La computación en la nube soporta computación de alta concurrencia, como el cribado de alto rendimiento de recetas ($>10^3$ combinaciones/día) o la optimización multiobjetivo (dureza, resistencia al desgaste, costo). En 2025, se espera que la escala del mercado de big data de China alcance los 540 000 millones de yuanes, apoyando la investigación y el desarrollo de materiales. La computación en la nube permite la simulación, como predecir la resistencia a la oxidación de aleaciones de WC ($<0,02\text{ mg/cm}^2$, $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, error $<5\%$), proporcionando una base teórica para el diseño de aleaciones de alta entropía y la dosificación de alta precisión.

3. Tendencia de desarrollo y características del carburo cementado.

La sinergia de la IA, el internet industrial, el 5G/6G y el big data/computación en la nube ha marcado profundamente el desarrollo de la producción de carburo cementado de alta entropía y por lotes. Como equipo de expertos dedicado a la producción personalizada de materiales a base de tungsteno durante 30 años, hemos presenciado la transformación del diseño de fórmulas tradicional a la innovación impulsada por la IA. Estas tendencias no solo mejoran el rendimiento de los materiales,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sino que también ofrecen soluciones personalizadas para la fabricación de alta gama . A continuación, se presenta un análisis detallado:

3.1 Diseño inteligente: progreso revolucionario impulsado por los datos

que optimiza las aleaciones de alta entropía y las formulaciones de lotes mediante el análisis de datos de múltiples fuentes . Los modelos de IA, como los bosques aleatorios o las máquinas de vectores de soporte, integran la estructura de la fase cristalina, los parámetros del tratamiento térmico y los datos de las condiciones de trabajo para predecir los indicadores de rendimiento. Por ejemplo, el modelo entrenado con base en datos históricos puede controlar el error de predicción de la dureza de la aleación WC-Co dentro de ± 50 HV, y el ciclo de diseño se acorta en aproximadamente un 50% en comparación con los métodos tradicionales. La IA generativa rompe aún más la rutina y selecciona formulaciones de aleación de alta entropía de miles de formulaciones mediante redes generativas adversarias (GAN). Por ejemplo, las aleaciones basadas en WCNi agregan 0.1-0.3 % en peso de NbC , lo que mejora la resistencia a la corrosión en un 10%, lo que es particularmente adecuado para nuevos equipos de energía en entornos ácidos. Además, la tecnología de gráficos de conocimiento coincide con las necesidades del usuario (como la alta conductividad de los conectores de aviación >90% IACS) con las propiedades del material, recomienda la formulación óptima y acorta el tiempo de respuesta en un 40%. Este diseño inteligente no solo acelera la investigación y el desarrollo, sino que también proporciona fundamento teórico para la alta entropía, y la producción por lotes se beneficia de ella, logrando una transición fluida de la estandarización a la personalización. La clave del diseño inteligente reside en romper las limitaciones del sistema de marca tradicional, lograr una correspondencia precisa entre el rendimiento y la demanda mediante tecnología de IA y proporcionar una base de datos para la implementación de la alta entropía y la producción por lotes.

3.2 Fabricación flexible: innovación de procesos para satisfacer diversas necesidades

La fabricación flexible se basa en Internet industrial y la tecnología 5G/6G para lograr una producción altamente personalizada en lotes pequeños, satisfaciendo las necesidades diversificadas del carburo cementado en el mercado de alta gama. La monitorización del proceso en tiempo real es la clave para la fabricación flexible. Los sensores de IoT recogen con precisión la temperatura de sinterización ($1350\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$), la presión (100-150 MPa) y los parámetros atmosféricos (como el contenido de H_2 del 5-10 %). Los algoritmos de IA ajustan dinámicamente los parámetros del proceso para mantener la consistencia del tamaño de grano ($0,1\text{-}0,5\text{ }\mu\text{m}$), reduciendo la tasa de defectos en un 15 %. La tecnología de prototipado rápido rompe aún más las limitaciones tradicionales. Por ejemplo, las estructuras geométricas complejas de los canales de flujo de placa bipolar de pilas de combustible (tolerancia $<\pm 0,004\text{ mm}$) se pueden completar en pocos días, acortando el ciclo de entrega en un 30 % y proporcionando un fuerte apoyo para proyectos de emergencia. Al mismo tiempo, las redes 5G/6G realizan la colaboración ascendente y descendente de la cadena industrial. Los proveedores optimizan el tamaño de partícula del polvo de tungsteno ($\text{D}_{50}\text{ }0,1\text{ }\mu\text{m}$) para satisfacer las necesidades de procesamiento posteriores. Los fabricantes ajustan

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la fórmula según las sugerencias de los usuarios (como la velocidad de corte de 200 m/min), lo que mejora la eficiencia de la cadena de suministro en un 20 %. La fabricación flexible proporciona una base sólida para la producción de prueba en lotes pequeños y la rápida iteración de productos en lotes de aleaciones de alta entropía. Especialmente en el contexto de grados diversificados, permite afrontar eficazmente las dificultades de adaptación al mercado derivadas de los sistemas de grados de diferentes países y empresas.

3.3 Alta entropía del carburo cementado: un gran avance en los límites de rendimiento

"El carburo cementado de alta **entropía** " (HE CC) es un concepto innovador propuesto por primera vez por CTIA GROUP LTD, que tiene como objetivo superar el cuello de botella de rendimiento del carburo cementado tradicional a través del diseño de aleación de alta entropía de múltiples componentes.

Las aleaciones de alta entropía (HEA) son aleaciones compuestas por múltiples elementos principales (generalmente 5 o más), con una proporción de cada elemento cercana a la equiatómica (generalmente del 5% al 35%). La distorsión reticular y la estabilidad se ven mejoradas por una alta entropía de mezcla (valor de entropía $> 1,5 R$). En comparación con las aleaciones tradicionales, las aleaciones de alta entropía presentan excelentes propiedades, como alta dureza, alta tenacidad, resistencia a altas temperaturas y resistencia a la corrosión, y se utilizan a menudo en entornos extremos, como la industria aeroespacial, equipos de aguas profundas y campos energéticos. Su diseño a menudo utiliza IA y la teoría funcional de la densidad para superar los límites de rendimiento de los materiales tradicionales.

La alta entropía utiliza la potencia computacional de alto rendimiento de la IA, como la teoría funcional de la densidad (DFT), para diseñar fórmulas complejas como $WCTiCNbCCo$ (valor de entropía $> 1,5R$), con dureza de hasta 1800-2200 HV y tenacidad de hasta $15-20 MPa \cdot m^{1/2}$. Este diseño multicomponente mejora la distorsión reticular mediante el efecto de aumento de la entropía, mejorando significativamente la estabilidad a alta temperatura ($> 1000^{\circ}C$) y la resistencia a la corrosión (pH 2-3, $< 0,005 mm/a$). Los recubrimientos funcionales optimizados por IA, como TiN o NiP , reducen la resistencia al desgaste a $< 0,015 mm^3/h$, la resistencia a la corrosión $< 0,005 mm/a$ y mejoran el rendimiento de la superficie en un 20 %. En aplicaciones prácticas, las aleaciones de alta entropía muestran una excelente adaptabilidad. Por ejemplo, las brocas para desarrollo en aguas profundas deben soportar una presión de 300 MPa y la corrosión del agua de mar (pH 8). La fórmula de alta entropía presenta una dureza de $> 2200 HV$ y una vida útil más de tres veces superior. La tecnología de alta entropía no solo promueve la investigación de vanguardia en ciencia de materiales, sino que también proporciona soluciones fiables para condiciones de trabajo extremas, como en los sectores aeroespacial y energético, entre otros. La clave de la alta entropía reside en superar las limitaciones del sistema de grados tradicional mediante avances en rendimiento, impulsar la producción en serie y permitir que el carburo cementado se adapte a una gama más amplia de condiciones de trabajo.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cabe destacar que el **concepto de "carburo cementado de alta entropía"** también puede entenderse como "carburo cementado de alta entropía", un concepto con connotaciones multinivel y un proceso de desarrollo dinámico. Por un lado, demuestra que el carburo cementado ha superado el sistema de fórmulas tradicional basado en tungsteno-níquel (WC-Ni) y tungsteno-cobalto (WC-Co), e introducido gradualmente elementos adicionales como tántalo (Ta), niobio (Nb), titanio (Ti) o cromo (Cr) según las diversas exigencias del mercado (como mayor dureza, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión o estabilidad a altas temperaturas), de modo que su composición se ha expandido del sistema binario o ternario tradicional a una fórmula compleja con cinco o más elementos. Aunque el contenido de estos elementos recientemente agregados puede no haber alcanzado la relación equiatómica estrictamente definida (generalmente 5%-35%) o la alta entropía de mezcla (valor de entropía $>1,5R$) de las aleaciones de alta entropía y, por lo tanto, no es completamente equivalente a las aleaciones de alta entropía en el sentido real, esta tendencia de diversificación de elementos sin duda ha sentado las bases para la mejora del rendimiento y ha demostrado el potencial del carburo cementado para evolucionar a un estado de mayor entropía.

Por otro lado, la **"alta entropía del carburo cementado"** también indica un proceso de transformación gradual, es decir, el carburo cementado se está convirtiendo gradualmente en una aleación de alta entropía. Este proceso implica no solo la optimización de la fórmula, sino también el proceso de producción, el diseño de la microestructura y la expansión de los escenarios de aplicación. En esta transición, las tecnologías de IA (como el aprendizaje automático y la computación de alto rendimiento) desempeñan un papel clave, guiando el ajuste de las fórmulas de aleación mediante la simulación y la predicción de interacciones multielemento. Por ejemplo, la adición de oligoelementos (como 0,2%-0,4% de TaC o ZrC) puede mejorar significativamente la distorsión reticular y mejorar el rendimiento a altas temperaturas o la resistencia a la oxidación, manteniendo al mismo tiempo las características de procesamiento y la rentabilidad del carburo cementado. Esta alta entropía gradual permite que el carburo cementado absorba gradualmente las características de las aleaciones de alta entropía, como mayor tenacidad ($>15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) y aplicabilidad más amplia (como entornos marinos o espaciales) mientras mantiene sus ventajas originales (como alta estabilidad de dureza en el rango de 1500-2000 HV).

Además, esta transformación también está impulsada por la demanda del mercado y la tecnología. Por ejemplo, los conectores eléctricos en el sector aeroespacial deben tener en cuenta una alta conductividad ($>90 \%$ IACS) y resistencia a la corrosión ($<0,01 \text{ mm/año}$), mientras que las placas bipolares para pilas de combustible requieren alta precisión (tolerancia $\leq \pm 0,004 \text{ mm}$) y resistencia a los ácidos (pH 3). Estos requisitos han impulsado al carburo cementado a introducir nuevos elementos mediante tecnología de alta entropía para soportar condiciones de trabajo extremas. En el futuro, este proceso podría acelerarse aún más. Con la madurez de las redes 6G y la computación cuántica, la IA optimizará la relación multielemento con mayor precisión y realizará gradualmente la transición integral del carburo cementado de alta entropía a una aleación de alta entropía real, logrando así un salto cualitativo en rendimiento y rango de aplicación.

3.4 Evolución de los lotes de calidades de carburo cementado: el futuro de la producción

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

personalizada

El grado de carburo cementado es un sistema de numeración estandarizado que identifica el tipo y el rendimiento de los materiales de carburo cementado, generalmente formulado por empresas o normas internacionales (como la ISO 513). Refleja la composición de la aleación (como la relación WC-Co), el rendimiento (como la dureza y la resistencia al desgaste) y el uso (como el corte y los moldes). Por ejemplo, la ISO K10 indica un grado adecuado para el mecanizado de fundición. Cada país y empresa tiene sus propios sistemas, como ANSI en Estados Unidos y JIS en Japón. La diversidad de grados facilita la selección precisa de materiales, pero también puede dificultar la adaptación al mercado debido a las diferentes normas.

Grado de Carburo Cementado por Lote (BS CC G)" también se denomina **dosificación de grados de carburo cementado**. Se trata de un concepto innovador propuesto inicialmente por CTIA GROUP LTD, basado en muchos años de experiencia práctica y una profunda observación. Se centra en el ajuste dinámico de la fórmula según las características de los diferentes lotes de materias primas y las necesidades del usuario para lograr una producción personalizada de alta precisión. Las diferencias entre los lotes de materias primas (como la pureza del polvo de tungsteno (99,9%-99,95%), el contenido de Co (6-20%)) tienen un impacto significativo en el rendimiento. La tecnología de IA resuelve eficazmente este desafío mediante el análisis de big data. Por ejemplo, el sector aeroespacial tiene altos requisitos de dureza (>2000 HV). La IA puede optimizar la relación WC-Co para lotes específicos, mientras que las aplicaciones de moldes priorizan la mejora de la tenacidad ($>15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), y la diferencia de rendimiento puede alcanzar el 10-15%. La optimización de la producción en lotes pequeños refleja aún más las ventajas de la dosificación. Por ejemplo, la producción de brocas para perforación en aguas profundas (dureza >2200 HV) se ha ajustado de las tradicionales 1000 piezas/mes a 100-200 piezas/mes, y el costo se controla dentro de $\pm 5\%$, satisfaciendo las necesidades del mercado de alta gama. Internet industrial y las redes 5G/6G permiten el seguimiento completo del ciclo de vida de los datos del lote (como la temperatura de sinterización y el tamaño del grano) y optimizan los procesos mediante análisis de computación en la nube, reduciendo las tasas de defectos en un 10% y asegurando la consistencia de la calidad. Además, la IA predice las tendencias del mercado, como el crecimiento anual del 20% en la demanda de baterías de nueva energía, y puede ajustar rápidamente la fórmula (como agregar 0,2-0,4 % en peso de TaC para mejorar la resistencia a la corrosión), acortando el ciclo de respuesta en 15-20 días. La producción por lotes también incluye el diseño personalizado del embalaje y el transporte, como el uso de embalajes anticorrosivos para equipos de alta mar y el control de la temperatura y la humedad durante el transporte (10 °C-30 °C, humedad <60 %) para garantizar un rendimiento estable del producto. La dosificación resuelve los problemas del mercado causados por la diversificación de los sistemas de grado tradicionales mediante una personalización completa, lo que permite que el carburo cementado se adapte a las necesidades cambiantes en tiempo real y a la retroalimentación de los datos de la aplicación en el ecosistema de la tecnología de IA. La estrecha relación entre la alta entropía y la dosificación radica en que la primera proporciona soporte técnico mediante avances en el rendimiento, y la segunda logra una adaptación precisa a la demanda del mercado mediante ajustes dinámicos. Ambos impulsan conjuntamente la industria del carburo cementado hacia la inteligencia y la personalización.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Desafíos de la alta entropía y la dosificación de carburo cementado de grado alto para las empresas

4.1 Desafíos de la cadena industrial tradicional del carburo cementado

La alta entropía del rendimiento del carburo cementado y la dosificación de grados son tendencias inevitables de la diversificación y la alta demanda de la aplicación final. Los cambios revolucionarios en la era de la IA han planteado desafíos sin precedentes a toda la cadena industrial del carburo cementado. Este cambio no solo afecta a los eslabones centrales de las empresas de producción y venta de carburo cementado, sino que también tiene un profundo impacto en la parte inicial de la cadena de suministro, incluidos los proveedores de equipos y materias primas. La cadena industrial tradicional se basa principalmente en un modelo de producción estático y estandarizado, difícil de adaptar a la complejidad del rendimiento derivada de la alta entropía y las capacidades de ajuste dinámico requeridas para la dosificación. La inteligencia impulsada por la IA requiere que los proveedores proporcionen materias primas con mayor precisión y consistencia (por ejemplo, el tamaño de partícula del polvo de tungsteno debe ser preciso a $D_{50} 0,1-0,3 \mu m$) y que los equipos tengan capacidades de producción flexibles (por ejemplo, que admitan el ajuste en tiempo real de la temperatura de sinterización a $1350^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ y los parámetros atmosféricos con un contenido de H_2 del 5-10%). Además, la cadena industrial necesita construir un sistema de interconexión de datos para lograr la transparencia y la coordinación de todo el proceso, desde la adquisición de materia prima hasta la entrega del producto, para satisfacer las nuevas necesidades de respuesta en tiempo real y colaboración eficiente en el marco del ecosistema de IA.

4.2 Desafíos para las empresas de carburo cementado y su gestión

La gestión de las empresas tradicionales de carburo cementado suele centrarse en la asignación de recursos humanos, financieros y materiales, así como en la gestión de procesos. Las grandes empresas son especialmente propensas a reuniones e informes engorrosos, ignorando los rápidos cambios en la innovación tecnológica y la demanda del mercado. Sin embargo, en el ecosistema de la IA, la dirección empresarial debe cambiar su enfoque, comprender a fondo el potencial de aplicación de la tecnología de IA, definir la arquitectura subyacente de IA que las empresas de carburo cementado realmente necesitan y evitar invertir a ciegas en herramientas o marcos de IA de un solo uso e ineficientes. La dirección debe comprender a fondo el valor real de la IA orientada a resultados y evitar invertir grandes cantidades de dinero en software y hardware que solo se utilizan para el registro en lugar de la optimización. En su lugar, deben centrarse en la interfaz de datos técnicos de las etapas iniciales y finales de la producción de carburo cementado, la interacción persona-computadora, la colaboración eficiente y el mecanismo de operación seguro en las etapas iniciales y finales de la cadena industrial. Además, la gerencia necesita identificar y cultivar talentos que se adapten al ecosistema tecnológico de IA, definir claramente los tipos de talentos que requiere la empresa, los procesos de gestión de IA, los requisitos de cumplimiento y los escenarios de aplicación de los agentes de IA. Por ejemplo, la introducción de agentes de marketing de IA

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(programas de software que utilizan tecnología de inteligencia artificial para realizar tareas de marketing de forma autónoma, analizar datos de clientes, personalizar contenido, optimizar campañas publicitarias, programar lanzamientos, interactuar con clientes potenciales y medir la efectividad del marketing) permite analizar la demanda del mercado en tiempo real y optimizar las estrategias de promoción de productos. Se puede afirmar que esta transformación de la gestión marcará un hito en la futura competencia de las empresas de carburo cementado, e incluso será clave para su supervivencia.

4.3 Desafíos para los profesionales de la cadena industrial tradicional del carburo cementado

Los empleados de las empresas tradicionales de producción y venta de carburo cementado, especialmente el personal de base, deben adaptarse al nuevo modelo de trabajo que plantea la tecnología de IA. Necesitan comprender el razonamiento técnico de la IA, aprender y dominar el proceso de operación de equipos de IA y de doble accionamiento, dominar el uso de herramientas de gestión inteligente y familiarizarse con la interfaz de interacción persona-computadora de IA. Por ejemplo, los operadores deben introducir rápidamente parámetros de trabajo (como una velocidad de corte de 200 m/min) a través de la interfaz de IA y recibir sugerencias de optimización. Además, los profesionales deben dominar las herramientas de producción y aplicación de IA, aprender a analizar y evaluar los resultados de salida de diversos agentes profesionales de IA, evaluar sus ventajas y desventajas y proponer mejoras. Esto requiere que los profesionales tengan un razonamiento de optimización más sólido y capacidades de análisis multidimensional, y sean capaces de encontrar puntos clave de mejora en datos entrecruzados, mejorando así el rendimiento de las aleaciones de alta entropía o la precisión de la producción por lotes. Solo mediante el aprendizaje continuo y la mejora de la capacidad, los empleados de base pueden transformar su rol de operadores tradicionales a participantes inteligentes de la producción en el ecosistema de IA.

4.4 Desafíos y oportunidades para las pequeñas y medianas empresas de carburo cementado

Un agente de IA (agente de inteligencia artificial, cuerpo de inteligencia artificial) se refiere a una entidad inteligente impulsada por tecnología de inteligencia artificial que puede percibir el entorno, tomar decisiones autónomas y realizar tareas. Obtiene información mediante sensores o datos, utiliza algoritmos para analizar y formular estrategias de acción, y luego actúa para alcanzar los objetivos preestablecidos. El agente de IA tiene cierto grado de autonomía y se utiliza ampliamente en asistentes inteligentes, conducción autónoma, chatbots y otros campos. Sus funciones dependen del diseño y los datos de entrenamiento.

Creemos que en un futuro cercano, la industria del carburo cementado verá el nacimiento de agentes de IA entrenados por varias empresas.

En el ecosistema de la IA, las pymes del carburo cementado se enfrentarán a graves retos de supervivencia. Su rápida adaptación a la transformación de la mentalidad, desde la alta entropía hasta la dosificación de calidades, dependerá de la velocidad de las actualizaciones tecnológicas, la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

capacidad de inversión y su capacidad de aprendizaje. Esta presión transformadora podría conducir al fenómeno darwiniano de "bajo el árbol no crece hierba", y algunas pymes desaparecerán por no poder seguir el ritmo de la tecnología de la IA. Sin embargo, la era de la IA también ofrece oportunidades para que las pymes contraataquen. La cadena industrial del carburo cementado en China podría dar origen a unicornios unipersonales basados en agentes profesionales de IA. Con muy pocos recursos humanos, estas empresas dependen de agentes de IA para construir un centro de producción y ventas eficiente, capaz de operar las 24 horas del día, los 7 días de la semana, sin necesidad de salas de conferencias, sin propensión a errores, con dominio en tiempo real de diversos tipos de datos en el ecosistema y una actualización continua mediante la optimización iterativa. Estas empresas pueden convertirse en embudos de datos en el ecosistema de IA, manejando automáticamente todo el proceso de dibujos de diseño, confirmación de contrato, asignación de tareas de producción, despliegue de mano de obra, formulación de requisitos técnicos, preparación de materiales, generación de listas de compra, liberación de instrucciones de subcontratación, manejo de asuntos especiales, intercambio de datos en línea, inspección y pruebas, diseño de marcas de empaque, generación de números de lote y arreglos logísticos.

Por el contrario, aunque las grandes empresas de carburo cementado tienen ventajas absolutas en capital, tecnología y talento, sus intereses creados internos y su estructura organizativa rígida pueden convertirse en el mayor obstáculo para la innovación. Por ejemplo, si la dirección ejecutiva decide utilizar agentes de conferencias de IA, pueden ser los primeros en ser reemplazados. Por el contrario, debido a su pequeño tamaño y a su corta cadena de toma de decisiones, las pequeñas y medianas empresas pueden adoptar la tecnología de IA con mayor flexibilidad, liberar a la dirección con mano de obra insuficiente y utilizar el otro lado de la desventaja para lograr un contraataque. Por ejemplo, al introducir un microecosistema de IA, las pequeñas y medianas empresas pueden ocupar nodos clave en la cadena industrial, responder rápidamente a la demanda del mercado e incluso liderar los cambios de la industria. Esta situación en la que coexisten oportunidades y desafíos destaca la profunda remodelación del modelo de desarrollo de las empresas de carburo cementado en la era de la IA.

4.5 Entrenamiento, aplicación y optimización iterativa del agente de IA de Cemented Carbide Enterprise

En la industria del carburo cementado, el uso del Internet de las Cosas (IIoT) industrial, la tecnología de comunicación 5G/6G y el uso de datos en tiempo real por parte de los clientes para aprender, entrenar, actualizar y aplicar agentes de IA, así como para optimizar el proceso de producción mediante el seguimiento y el ajuste automático, permiten lograr una coordinación sincronizada y un diálogo entre las máquinas de producción y aplicación. A continuación, se presentan métodos de implementación específicos:

El entrenamiento del Agente de IA de Carbide

implementa una red de sensores IIoT para recopilar datos de producción en tiempo real (como la temperatura y presión de sinterización de GB/T 26048-2010 y la distribución del tamaño de partícula

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de polvo de GB/T 34505-2017) y transmitirlos a la nube mediante transmisión de alta velocidad 5G/6G. Combinado con el conjunto de datos inicial (microestructura de GB/T 18376-2014 y composición química de GB/T 5314-2011), se utiliza un modelo de entrenamiento de aprendizaje automático distribuido para predecir indicadores de rendimiento (como dureza YG6 91,5 HRA y porosidad $<0,05\%$).

El Agente de IA de Carbide se actualiza constantemente para supervisar los escenarios de uso del cliente

mediante IIoT (como la resistencia al desgaste según GB/T 12444-2006 y la resistencia a la corrosión según GB/T 4334-2020) y la transmisión de datos en tiempo real 5G/6G. Aplique aprendizaje en línea o aprendizaje federado para actualizar dinámicamente el modelo y adaptarlo a nuevos procesos (como los nuevos grados según GB/T 5243-2008) o cambios en la demanda del cliente, y mejorar la precisión de la predicción (desviación $\leq \pm 0,5$ HRA).

Seguimiento de datos del cliente en tiempo real y optimización del

agente de IA de carburo Los datos de uso del cliente (como la vida útil de la herramienta de corte y la tasa de desgaste) se retroalimentan al extremo de producción en tiempo real a través de 5G/6G. El agente de IA analiza los datos y rastrea el proceso de producción (como la alta temperatura de sinterización que resulta en una porosidad $>0,1\%$). El agente de IA ajusta automáticamente los parámetros del proceso (como la reducción de la temperatura de $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $1440\text{ }^{\circ}\text{C}$), optimiza los datos técnicos en tiempo real y garantiza el rendimiento del producto (como la estabilización de la dureza a $91,5 \pm 0,5$ HRA). Este proceso realiza la coordinación sincrónica entre el extremo de producción y el extremo de aplicación, formando un diálogo entre máquinas (como la interacción de datos entre el equipo de producción y el equipo del cliente).

Aplicación del agente de IA de carburo

El agente de IA integra equipos de producción a través de IIoT, ajusta parámetros en tiempo real (como presión 50 MPa, tiempo de retención 60 minutos), predice y corrige defectos. 5G/6G garantiza una comunicación eficiente, recopila datos de la aplicación (como vida útil de corte > 5 horas), admite diagnóstico remoto y personalización personalizada, y mejora la eficiencia de la producción y la consistencia del producto.

Con el apoyo de IIoT y 5G/6G, junto con el seguimiento de datos de clientes en tiempo real y la optimización automática, AI Agent logra una coordinación de circuito cerrado entre la producción y la aplicación, garantizando el rendimiento óptimo de los productos de carburo cementado, a la vez que mejora la eficiencia y la satisfacción del cliente. La aplicación AI Agent, desarrollada por la industria del carburo cementado, puede impulsar la evolución continua del diseño y la optimización de lotes de alta entropía y de marca de carburo cementado, las actualizaciones iterativas y promover el desarrollo de la industria hacia la inteligencia, la personalización y el alto rendimiento.

5. Diseño de lotes de carburo cementado de alta entropía y grado impulsado por IA y análisis de casos de aplicación

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Un equipo de expertos con 30 años de experiencia en la producción personalizada de materiales de tungsteno, China Tungsten Online, ha analizado en detalle las aplicaciones prácticas de la dosificación de alta entropía y grado de carburo cementado impulsada por IA en diversos campos a través de los siguientes casos. Estos casos no solo demuestran las ventajas técnicas, sino que también reflejan su profundo impacto en el desarrollo de la industria.

5.1 Conectores eléctricos aeroespaciales: la combinación perfecta de alta conductividad y resistencia a la corrosión

Los conectores eléctricos aeroespaciales deben tener alta conductividad ($>90\%$ IACS), resistencia a la corrosión ($<0,01$ mm/a, prueba de niebla salina de 1000 horas) y resistencia a la vibración (10 g, 10^6 ciclos). AI diseñó un grado de aleación de alta entropía WCTiCNi (20-25 at% de cada componente, valor de entropía $>1,5R$) y agregó 0,2 % en peso de TaC para aumentar la resistencia al desgaste en un 5%, la dureza a 1900 HV, la conductividad sobre el 90% IACS, la resistencia de contacto por debajo de $10\ \mu\Omega$ y la resistencia a la corrosión mantenida a $<0,01$ mm/a en una prueba de niebla salina de 1000 horas. Esta formulación utiliza tecnología de alta entropía para mejorar la estabilidad de la red, admite la transmisión de señales de alta velocidad (50 A/cm^2) y funciona bien en entornos de vibración de $50\text{ }^\circ\text{C}$ a $200\text{ }^\circ\text{C}$ y 10 g. La IA optimiza la fórmula analizando datos de las condiciones de trabajo (como la concentración de niebla salina y la densidad de corriente), con un margen de error del 3 %. La red 5G permite la interacción de datos en tiempo real, y el internet industrial integra la retroalimentación de los usuarios. El rendimiento alcanza el 98 % y la vida útil es de 2×10^6 veces, tres veces superior a la de los materiales tradicionales a base de cobre. La producción por lotes ajusta la fórmula según las necesidades de los clientes del sector aeroespacial para garantizar que cada lote cumpla con los estándares específicos de conductividad y resistencia a la corrosión.

5.2 Procesamiento de microagujeros en moldes de precisión: materialización técnica de dureza ultraalta y resistencia al desgaste

El procesamiento de microagujeros en moldes de precisión requiere alta dureza (>1800 HV), resistencia al desgaste ($<0,02\text{ mm}^3/\text{h}$) y alta precisión (tolerancia $<\pm 0,003\text{ mm}$). AI diseñó una aleación de alta entropía WCTiCCo (20-25 % atómico de cada componente, valor de entropía $>1,5R$) y añadió un 0,3 % en peso de ZrC para mejorar el rendimiento antiadherente en un 10 %. La dureza alcanzó los 2000 HV, la tenacidad fue de $15\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ y la resistencia al desgaste se redujo a $<0,015\text{ mm}^3/\text{h}$. Esta fórmula muestra una pérdida baja ($<0,3\%$) en el mecanizado por electrochispa de alta frecuencia (ancho de pulso de 30 a $50\ \mu\text{s}$, corriente de 10 A), y la propiedad antiadherente reduce los residuos de mecanizado, lo que es particularmente adecuado para el mecanizado de microagujeros (diámetro del agujero de $\varnothing 0,5\text{ mm}$) de materiales difíciles de mecanizar, como las aleaciones de titanio. La IA combina datos de las condiciones de trabajo (como la tasa de desgaste del electrodo y la temperatura de procesamiento) para optimizar la fórmula, el Internet industrial proporciona información en tiempo real sobre los parámetros de procesamiento y la red 5G

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

transmite datos de la cadena industrial. La tasa de rendimiento alcanza el 97 % y la vida útil resistente al desgaste es 4 veces mayor que la de los electrodos de cobre tradicionales. La producción por lotes ajusta la cantidad de ZrC añadido según los diferentes usos del molde para garantizar que cada lote cumpla con los requisitos específicos de precisión y resistencia al desgaste.

5.3 Placas bipolares de pilas de combustible: optimización dual de la conductividad y la resistencia a los ácidos

Las placas bipolares para pilas de combustible requieren una alta conductividad ($>85\%$ IACS), resistencia a los ácidos ($<0,01\text{ mm/año}$, pH 3) y alta precisión (tolerancia $<\pm 0,004\text{ mm}$). AI diseñó la aleación WCTiCNbCCo de alta entropía (15-20 % atómico de cada componente, valor de entropía $>1,5\text{ R}$), con 0,2 % en peso de TaC añadido para mejorar la resistencia a la corrosión en un 10 %, dureza 1900 HV, conductividad $>85\%$ IACS y resistencia a la corrosión $<0,005\text{ mm/año}$ en un entorno de pH 3. La alta conductividad permite una transmisión de corriente eficiente (100 A/cm^2), la resistencia a los ácidos garantiza la estabilidad a largo plazo en un electrolito ácido a $80\text{ }^\circ\text{C}$ y la alta dureza mantiene la precisión de la geometría del canal de flujo (ancho de $0,5\text{ mm}$). La IA optimiza la fórmula analizando la composición del electrolito (pH 3, temperatura $80\text{ }^\circ\text{C}$), la computación en la nube verifica el rendimiento (error $<4\%$) y la red 5G facilita la colaboración en la cadena de suministro, con un rendimiento del 98 % y una vida útil de $1,2 \times 10^7$ veces, cuatro veces superior a la del acero inoxidable. La producción por lotes ajusta la fórmula según las diferentes especificaciones de las pilas de combustible para garantizar que cada lote se adapte a los requisitos específicos de conductividad y resistencia a los ácidos.

5.4 Armadura protectora: aplicación estratégica de ultraalta dureza y ligereza

La armadura protectora requiere una dureza ultraalta ($>2000\text{ HV}$), resistencia al impacto ($>15\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) y peso ligero (densidad $<15\text{ g/cm}^3$). AI diseñó la aleación de alta entropía WCTiCTaCCo (20-25 at% de cada componente, valor de entropía $>1,6\text{ R}$), agregando 0.3 wt % NbC para aumentar la resistencia al impacto en un 8 %, dureza 2100 HV, tenacidad $16\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, densidad $14,5\text{ g/cm}^3$. Esta fórmula utiliza tecnología de alta entropía para resistir impactos de alta velocidad ($>1000\text{ m/s}$), el diseño liviano es adecuado para plataformas móviles como tanques y vehículos blindados, y resistencia a altas temperaturas ($600\text{ }^\circ\text{C}$) para hacer frente a entornos de impacto explosivo. La IA optimiza la fórmula basándose en datos de las condiciones de trabajo en el campo de batalla (como la velocidad de impacto y la temperatura de $40\text{ }^\circ\text{C}$ a $600\text{ }^\circ\text{C}$), con un margen de error inferior al 3 %. Las redes 5G/6G permiten la interacción en tiempo real, y el internet industrial integra la retroalimentación. El rendimiento es del 96 % y la resistencia al impacto es 10^5 veces superior, 2,5 veces superior a la del acero para blindaje tradicional. La producción por lotes ajusta la cantidad de NbC añadido según los diferentes usos del blindaje para garantizar que cada lote cumpla con los requisitos específicos de resistencia al impacto y ligereza.

5.5 Piezas del rotor del UAV: optimización sinérgica de alta resistencia y resistencia al desgaste

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Las piezas del rotor del UAV requieren alta resistencia (>2 GPa), resistencia al desgaste ($<0,015$ mm³/h) y peso ligero (densidad <14 g/cm³). Aleación de alta entropía WCTiCNi diseñada por IA (20-25 % at de cada componente, valor de entropía $>1,5R$), añadió 0,2 % en peso de ZrC para aumentar la resistencia al desgaste en un 7 %, dureza 1950 HV, resistencia a la flexión 2,2 GPa, densidad 13,8 g/cm³. La alta resistencia y la resistencia al desgaste garantizan la estabilidad estructural a alta velocidad ($>10^4$ rpm), el peso ligero mejora la resistencia y la resistencia ambiental (20 °C-200 °C) se adapta a diversas misiones de vuelo. La IA utiliza datos de las condiciones de vuelo (como la velocidad y la temperatura) para optimizar la fórmula, Internet industrial analiza la retroalimentación del rendimiento y la red 5G transmite datos de la cadena industrial. El rendimiento es del 97 % y la vida útil es de 5×10^5 horas, tres veces superior a la de la aleación de titanio. La producción por lotes ajusta la cantidad de ZrC añadido según las diferentes necesidades para garantizar que cada lote cumpla con los requisitos específicos de resistencia y resistencia al desgaste.

5.6 Casco de presión de un sumergible no tripulado: el desafío definitivo del entorno de aguas profundas

El casco de presión de un sumergible no tripulado requiere alta resistencia a la presión (>500 MPa), resistencia a la corrosión en agua de mar ($<0,005$ mm/año, pH 8) y alta tenacidad (>12 MPa·m^{1/2}). AI diseñó la aleación de alta entropía WCTiCNbCCo (15-20 % atómico de cada componente, valor de entropía $>1,5R$), añadiendo 0,3 % en peso de TaC para aumentar la resistencia a la corrosión en un 12 %, dureza de 1900 HV, resistencia a la compresión de 550 MPa y resistencia a la corrosión $<0,004$ mm/año. La alta resistencia a la presión y tenacidad pueden soportar alta presión en aguas profundas (>500 MPa), la excelente resistencia a la corrosión en agua de mar garantiza la estabilidad a largo plazo en entornos marinos de 0-10 °C, y la alta dureza mantiene la integridad geométrica del casco. La IA optimiza la fórmula a partir de datos de las condiciones de trabajo en aguas profundas (como presión y temperatura), la computación en la nube verifica el rendimiento (error $<3\%$), la red 5G/6G facilita la colaboración en cadena industrial, con un rendimiento del 98% y una vida útil de 10^7 horas, cuatro veces superior a la del acero inoxidable. La producción por lotes ajusta la cantidad de TaC añadido según las diferentes profundidades de inmersión para garantizar que cada lote se adapte a los requisitos específicos de resistencia a la presión y a la corrosión.

5.7 Brocas para desarrollo en aguas profundas: un equilibrio perfecto entre resistencia extrema al desgaste y resistencia a la corrosión

Las brocas para desarrollo en aguas profundas requieren una dureza ultraalta (>2200 HV), resistencia al desgaste ($<0,01$ mm³/h) y resistencia a la corrosión ($<0,005$ mm/año, pH 8). AI diseñó la aleación de alta entropía WCTiCTaCNi (20-25 % atómico de cada componente, valor de entropía $>1,6R$), añadiendo 0,4 % en peso de Cr₃C₂ para mejorar la resistencia al desgaste en un 10 %, dureza 2250 HV, resistencia al desgaste $<0,008$ mm³/h, resistencia a la corrosión $<0,004$ mm/año. Su dureza y resistencia al desgaste ultraaltas son adecuadas para la perforación en roca dura en aguas profundas (presión >300 MPa), la resistencia a la corrosión garantiza la estabilidad en entornos de agua de mar de 0-20 °C y su alta resistencia mantiene la integridad estructural de la broca. La IA utiliza datos de trabajo en aguas profundas (como la dureza y la temperatura de las

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

rocas) para optimizar la fórmula, el internet industrial analiza la retroalimentación y la red 5G transmite datos. El rendimiento es del 96 % y la vida útil es de 2×10^4 horas, tres veces superior a la de las brocas tradicionales. La producción por lotes ajusta la cantidad de Cr_3C_2 añadida según las diferentes condiciones geológicas para garantizar que cada lote cumpla con los requisitos específicos de resistencia al desgaste y la corrosión.

5.8 Placa protectora resistente al calor para el desarrollo espacial: lo máximo en resistencia a la oxidación a alta temperatura y ligereza.

Las placas protectoras resistentes al calor para el desarrollo espacial requieren resistencia a la oxidación a alta temperatura ($<0,01 \text{ mg/cm}^2$, 1500°C), alta resistencia ($>2 \text{ GPa}$) y peso ligero (densidad $<14 \text{ g/cm}^3$). Al diseñó la aleación de alta entropía WCTiCNbCCo (20-25 % at de cada componente, valor de entropía $>1,5R$), añadiendo 0,2 % en peso de ZrC para aumentar la resistencia a la oxidación en un 8 %, dureza de 2000 HV, resistencia a la flexión de 2,3 GPa y densidad de $13,5 \text{ g/cm}^3$. La resistencia a la oxidación y la alta resistencia son adecuadas para el entorno de alta temperatura de las naves espaciales que vuelven a entrar en la atmósfera (1500°C), el peso ligero reduce los costes de lanzamiento y la resistencia al vacío (10^{-6} Pa) cumple con las condiciones espaciales. La IA optimiza la fórmula mediante datos de las condiciones de trabajo en el espacio (como temperatura y presión), la computación en la nube verifica el rendimiento (error $<3\%$) y la red 5G/6G facilita la colaboración. El rendimiento es del 97 % y la vida útil antioxidante es de 10^4 horas, 2,5 veces superior a la de los materiales cerámicos. La producción por lotes ajusta la cantidad de ZrC añadido según las diferentes misiones espaciales para garantizar que cada lote cumpla con los requisitos específicos de antioxidación y ligereza.

5.9 Componentes articulares de robots humanos: equilibrio dinámico entre resistencia al desgaste y tenacidad

Las piezas de articulación de robots humanoides requieren alta resistencia al desgaste ($<0,015 \text{ mm}^3/\text{h}$), alta tenacidad ($>15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) y peso ligero (densidad $<14 \text{ g/cm}^3$). Aleación de alta entropía WCTiCNi diseñada por IA (20-25 % atómico de cada componente, valor de entropía $>1,5R$), añadiendo 0,3 % en peso de TaC para mejorar la resistencia al desgaste en un 7 %, dureza 1950 HV, tenacidad $16 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, densidad $13,7 \text{ g/cm}^3$. La alta resistencia al desgaste y tenacidad garantizan bajas pérdidas en movimiento de alta frecuencia (tensión cíclica $>100 \text{ MPa}$), peso ligero para mejorar la flexibilidad del robot, resistencia ambiental (10°C - 100°C) para adaptarse a una variedad de escenarios de misión. La IA utiliza datos de las condiciones de movimiento (como carga y temperatura) para optimizar la fórmula, la retroalimentación del análisis de internet industrial y los datos de transmisión de la red 5G. Rendimiento del 98 % y una vida útil de 5×10^6 veces, tres veces superior a la de la aleación de titanio. La producción por lotes ajusta la cantidad de TaC añadido según los diferentes modelos de robot para garantizar que cada lote cumpla con los requisitos específicos de resistencia al desgaste y tenacidad.

5.10 Diseño de coincidencia de precisión de IA: un paradigma técnico para la optimización

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

integral

La tecnología de diseño de coincidencia de precisión de IA proporciona soluciones integrales de optimización para herramientas de carburo, moldes y herramientas de corte, equilibrando la apariencia, la tecnología de procesamiento, la vida útil, el costo y la puntualidad. La optimización inteligente de la forma utiliza el modelado de IA y el análisis de elementos finitos (como la fuerza de corte de 500 N) para ajustar el ángulo de ataque de la herramienta (10°), mejorar la precisión del procesamiento a $\pm 0,001$ mm y reducir el desperdicio de material en un 5%. La evaluación de la dificultad del procesamiento analiza la viabilidad del CNC, el corte por láser y el tratamiento térmico, predice una tasa de defectos $<2\%$ y reduce el costo en un 10%. La predicción de vida útil recomienda un recubrimiento de superficie (como TiN) basado en datos de desgaste ($<0,01$ mm³ /h), lo que extiende la vida útil en un 20%. La optimización integral del costo y la puntualidad utiliza un algoritmo multiobjetivo para controlar el costo en un $\pm 5\%$ y acortar el ciclo en 15 días. La coincidencia dinámica y la iteración continua actualizan las condiciones de trabajo a través de la base de datos (como la velocidad de corte de 200 m/min), la optimización iterativa de IA, se adapta a las necesidades de dosificación de aleaciones de alta entropía y mejora la competitividad del producto en un 20%.

VI. Problemas y desafíos

6.1 Calidad y consistencia de los datos

La IA depende de la calidad de los datos. Los datos en la cadena industrial contienen ruido debido a las diferencias en los métodos de medición, lo que puede afectar la precisión de las predicciones. El intercambio entre empresas está sujeto a restricciones de privacidad, y es necesario establecer estándares unificados (como la norma ISO 8000) para garantizar la fiabilidad y la interoperabilidad de los datos. Además, los formatos de datos y los métodos de recopilación de diferentes fuentes pueden generar información inconsistente, lo que aumenta la complejidad de la depuración e integración de datos. Establecer estándares de datos industriales y mecanismos de intercambio será un paso clave en el desarrollo futuro para respaldar la estabilidad y la capacidad predictiva de los modelos de IA.

6.2 Recursos y costos computacionales

La computación de alto rendimiento requiere clústeres de computación de alto rendimiento (HPC), que son costosos y suponen una carga significativa para las pequeñas y medianas empresas. Si bien la computación en la nube ofrece escalabilidad, la inversión inicial y los costos operativos pueden limitar su popularidad. Las pequeñas y medianas empresas necesitan explorar alternativas de computación en el borde de bajo costo, reducir la dependencia de los servicios en la nube mediante el procesamiento localizado y optimizar la asignación de recursos para reducir los costos generales. Además, el consumo de energía y el mantenimiento del hardware también deben considerarse para lograr un equilibrio entre los beneficios económicos y el rendimiento técnico.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.3 Complejidad y controlabilidad del proceso

Las aleaciones de alta entropía exigen altos requisitos en cuanto a los parámetros de producción, y las desviaciones de estos pueden provocar fluctuaciones en el rendimiento. Por ejemplo, pequeños cambios en la temperatura de sinterización y el control de la atmósfera pueden afectar las propiedades del material y aumentar la incertidumbre en el proceso de producción. Se necesitan urgentemente sistemas de control automatizados y procesos estandarizados para mejorar la repetibilidad y la estabilidad del proceso. Además, los procesos complejos también pueden requerir equipos más avanzados y soporte técnico profesional, y las empresas se enfrentan a una gran presión para actualizar su tecnología y capacitar a su personal.

6.4 Cuellos de botella en la industrialización y la ampliación

La producción en lotes pequeños funciona bien, pero la producción a gran escala se enfrenta a numerosos desafíos, como la dificultad de garantizar la consistencia del rendimiento entre lotes y los altos costos de producción. La eficiencia de la coordinación de la cadena de suministro y la estabilidad del suministro de materias primas también pueden convertirse en cuellos de botella. Es necesario optimizar la gestión de la cadena de suministro, reducir el costo de producción de aleaciones de alta entropía mediante una estrecha colaboración con proveedores y clientes, y mejorar la eficiencia económica de la producción a gran escala. Al mismo tiempo, explorar modelos de producción modulares puede ayudar a alcanzar los objetivos de escala manteniendo la flexibilidad.

6.5 Impresión 3D y tecnología de materiales 2D

Optimización de la estructura de impresión 3D

La fabricación de componentes complejos, el acortamiento de los ciclos y la mejora de la flexibilidad del diseño proporcionan un nuevo enfoque para la producción de pruebas rápidas de aleaciones de alta entropía.

Mejoras de material 2D

El recubrimiento de grafeno mejora la conductividad y la resistencia a la corrosión, mejora las propiedades de la superficie y se espera que optimice aún más el rango de aplicación de las aleaciones de alta entropía.

Materiales compuestos multifuncionales

La incorporación de materiales 2D para formar compuestos de alta resistencia prolonga la vida útil, reduce el desperdicio y promueve el desarrollo sustentable del diseño de materiales.

Sostenibilidad

Reducir el consumo de energía, reducir la huella de carbono y abordar los desafíos de recursos están

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en línea con la tendencia de fabricación ecológica impulsada por IA.

Además, la precisión y la compatibilidad de los materiales de la tecnología de impresión 3D aún deben mejorarse, y la producción en masa y el control de costos de los materiales 2D también requieren avances. El desarrollo de estas tecnologías brindará más posibilidades para la aplicación industrial de la alta entropía y el procesamiento por lotes, pero también es necesario equilibrar la innovación tecnológica con la viabilidad de la producción real.

VII. Conclusión

Impulsados por IA, la alta entropía y la dosificación de carburo cementado mejoran significativamente el rendimiento (vida útil de 2,5 a 4 veces) y las capacidades de personalización, adaptándose a la industria aeroespacial, las nuevas energías y la tecnología de vanguardia. Estudios de caso han verificado su potencial de aplicación en condiciones de trabajo extremas, y los desafíos incluyen la calidad de los datos, el costo y la industrialización. En el futuro, el uso comercial del 6G y la IA cuántica impulsarán el crecimiento en un 35 % (2025-2030). Los expertos del sector interesados pueden contactar con China Tungsten Online Technology Co., Ltd. para intercambiar, debatir y colaborar.

Referencias

- Chinatungsteno En línea, "Cotización del mercado de productos de tungsteno al 16 de mayo de 2025".
oficial de WeChat de China Tungsten Online : "Cotizaciones de mercado de productos de tungsteno al 16 de mayo de 2025", China Tungsten Online, 2025.
- USGS, "Hoja de datos de tungsteno 2025", Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2025.
- Servicio Geológico de los Estados Unidos, "Hoja de datos de tungsteno 2025", Servicio Geológico de los Estados Unidos, 2025.
- ITIA, "Informe anual 2025 de la Asociación Internacional de la Industria del Tungsteno", ITIA, 2025.
- Asociación de la Industria del Tungsteno, "Informe Anual de la Asociación de la Industria del Tungsteno 2025 ", Asociación de la Industria del Tungsteno, 2025.
- Revista de Ciencia de Materiales, "Aleaciones de alta entropía para entornos extremos", vol. 60, n.º 12, págs. 1234-1250, 2025.
- Revista de Ciencia de Materiales, "Aleaciones de alta entropía en entornos extremos", vol. 60, n.º 12, págs. 1234-1250, 2025.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

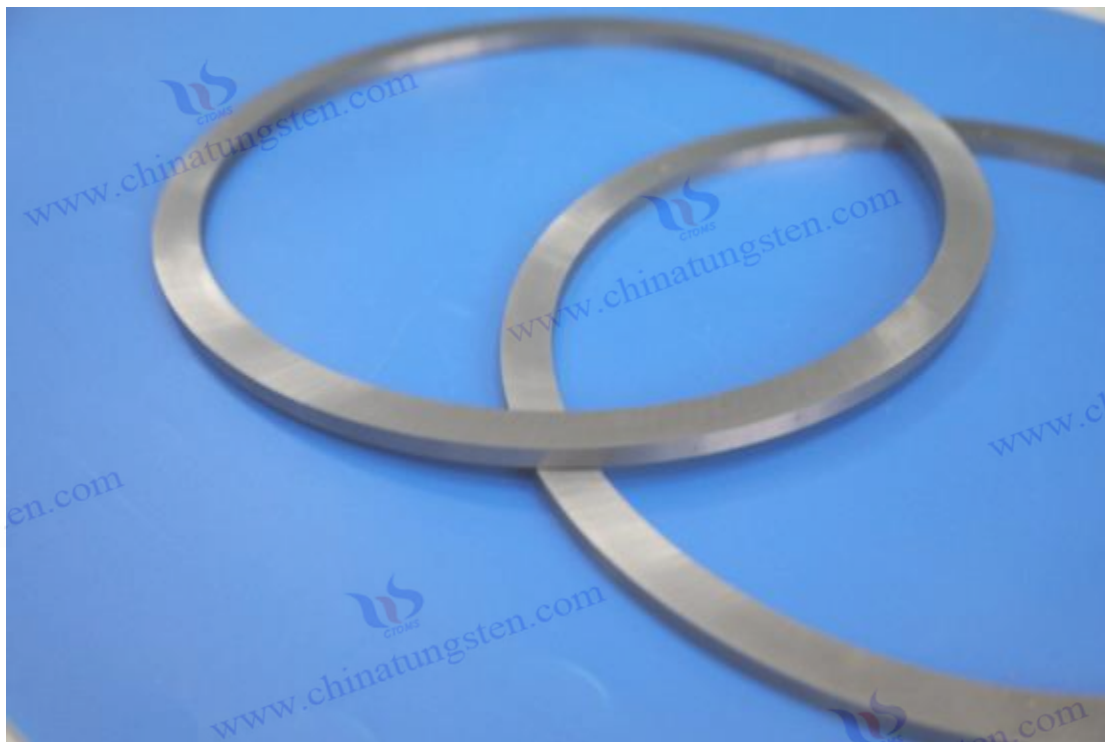
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Prefacio

El carburo cementado de tungsteno, un material compuesto con carburo de tungsteno como matriz y cobalto o níquel como fase de unión, se ha convertido en un material clave indispensable en la industria moderna debido a su excelente dureza (HV 1500-2500), resistencia al desgaste (índice de desgaste inferior a 0,06 milímetros cúbicos por newton metro), tenacidad (tenacidad a la fractura de 820 MPa por metro cuadrado) y estabilidad a altas temperaturas (superior a 1000 grados Celsius). Desde su aparición a principios del siglo XX, el carburo cementado se ha utilizado ampliamente en herramientas de corte, piezas resistentes al desgaste, la industria aeroespacial, equipos de energía, así como en campos emergentes como la biomedicina y el almacenamiento de energía debido a su excelente rendimiento. Sin embargo, con la creciente demanda mundial de sostenibilidad de los recursos y fabricación ecológica, la tecnología de preparación, optimización, clasificación, aplicación y reciclaje del carburo cementado se enfrenta a nuevos desafíos y oportunidades. Cómo lograr una baja carbonización, el reciclaje y la innovación interdisciplinaria manteniendo un alto rendimiento se ha convertido en el foco de preocupación común en el ámbito académico y la industria.

Este libro, "Carburo Cementado: Una Exploración Integral de las Propiedades Físicas y Químicas, Procesos y Aplicaciones", busca proporcionar una guía académica sistemática, exhaustiva y práctica sobre este campo complejo y dinámico. Nuestro objetivo es integrar los últimos avances en ciencia de materiales, química, física, tecnología de ingeniería y ciencias ambientales para revelar completamente las propiedades físicas y químicas, el flujo de procesos, la regulación del rendimiento, el sistema de clasificación, los escenarios de aplicación y las tendencias de vanguardia

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

del carburo cementado. Este libro no solo explora la microestructura del carburo cementado (tamaño de grano de 0,110 micras), el mecanismo de reacción química (como la sinterización en fase líquida y la estructura electrónica de la interfaz de carburo de tungsteno y cobalto), sino que también analiza minuciosamente su proceso de preparación (sinterización al vacío, recubrimiento por pulverización de oxígeno combustible a alta velocidad), la estrategia de optimización del rendimiento (relación Hall-Petch, adición de carburo de cromo) y la tecnología de reciclaje (la tasa de recuperación del método de fusión de zinc es superior al 95%). A través del análisis teórico, datos experimentales y estudios de casos (como la vida útil de la herramienta aumentó en un 30% y la durabilidad de los componentes de aviación superó las 5000 horas), este libro se esfuerza por proporcionar a los lectores un marco de conocimiento desde lo básico hasta lo más avanzado.

El libro se divide en cinco partes, con una estructura clara y niveles progresivos. La primera parte, "Ciencia Básica del Carburo Cementado", establece las bases teóricas desde su definición e historia hasta su microestructura y propiedades fisicoquímicas; la segunda parte, "Proceso de Preparación del Carburo Cementado", detalla la síntesis de la materia prima, el moldeo, la sinterización y la tecnología de recubrimiento, destacando la innovación en el proceso; la tercera parte, "Optimización del Rendimiento del Carburo Cementado", se centra en la mecánica, la resistencia a la corrosión y la multifuncionalidad, revelando el mecanismo de mejora del rendimiento; la cuarta parte, "Clasificación y Campo de Aplicación del Carburo Cementado", clasifica sistemáticamente (por composición, grano, función, proceso, forma) y analiza las aplicaciones de corte, minería, aeroespacial y emergentes; la quinta parte, "Desarrollo Fronterizo del Carburo Cementado", se centra en los nanomateriales, la fabricación ecológica y la integración interdisciplinaria, y describe el plan de futuro. Además, el apéndice proporciona normas, tablas de datos, términos y referencias para una investigación en profundidad.

Este libro está dirigido a una amplia gama de lectores, incluyendo académicos y estudiantes de posgrado en el campo de la ciencia e ingeniería de materiales, ingenieros en las industrias de fabricación mecánica, aeroespacial, energética y otras, y responsables de la toma de decisiones técnicas enfocados en el desarrollo sostenible. Ya sea usted un investigador que explora las propiedades cristalográficas del carburo cementado, un investigador que optimiza el rendimiento de las herramientas de corte o un experto ambiental comprometido con el reciclaje de recursos de tungsteno, este libro le proporcionará una valiosa fuente de conocimiento e inspiración práctica. Esperamos inspirar a los lectores a reflexionar profundamente e innovar sobre el carburo cementado mediante una rigurosa exposición académica, un detallado respaldo de datos (como la dureza del polvo reciclado HV 1400-2000, la resistencia de adhesión del recubrimiento 5080 MPa) y un análisis de casos de vanguardia.

A medida que la industria manufacturera global avanza hacia la inteligencia y la sostenibilidad, el carburo cementado no solo es la piedra angular de la tecnología, sino también la clave del desarrollo sostenible. Este libro busca tender un puente entre la investigación académica y la aplicación industrial en el campo del carburo cementado, con una perspectiva integral, lógica sistemática y conocimientos de vanguardia. Esperamos que la lectura inspire a los lectores y que, conjuntamente,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

impulsemos el renacimiento de este material clásico en la nueva era.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

1


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Capítulo 1: Definición e historia del carburo cementado

El carburo cementado de tungsteno (WC-Co) se ha convertido en un material indispensable en la industria moderna gracias a su excelente dureza, resistencia al desgaste y tenacidad. Como material compuesto con carburo de tungsteno (WC) como fase dura principal y cobalto (Co) o níquel (Ni) como fase aglutinante, se prepara mediante pulvimetalurgia y se utiliza ampliamente en diversos entornos de alto rendimiento. Este capítulo define sistemáticamente la composición química y la microestructura del carburo cementado, describe exhaustivamente su desarrollo desde la exploración química en el siglo XIX hasta la fabricación ecológica e inteligente del siglo XXI, y se centra especialmente en el auge de la industria del carburo cementado en China, comparando sus propiedades y ventajas de rendimiento con los materiales tradicionales y el acero de tungsteno.

1. ¿Qué es el carburo cementado?

El carburo cementado es un material compuesto fabricado mediante pulvimetalurgia a partir de carburos metálicos refractarios de alta dureza (como el carburo de tungsteno (WC) y el carburo de titanio (TiC)) y cobalto, níquel y otras fases de unión. Su concepto de diseño combina la altísima dureza de los carburos con la tenacidad de las fases de unión metálicas para satisfacer las necesidades de condiciones de trabajo extremas, como alta temperatura, alta presión y corrosión.

1.1 Composición química y estructura del carburo cementado

El rendimiento del carburo cementado se debe a su composición química y microestructura únicas. La matriz de carburo proporciona dureza y la fase de enlace mejora la tenacidad. Esta sección parte de las propiedades cristalográficas y combina los avances de la investigación de 2025 para explorar la relación entre su estructura y rendimiento.

Propiedades cristalográficas de la matriz de carburo cementado (WC, TiC, etc.)

El carburo de tungsteno (WC) es el núcleo del carburo cementado, con un sistema hexagonal (grupo espacial P6m2), constantes de red $a=2,906 \text{ \AA}$, $c=2,837 \text{ \AA}$, dureza HV 2200-2800 y punto de fusión de aproximadamente 2870 °C. El fuerte enlace covalente entre el tungsteno y el carbono forma un esqueleto estable con una dureza de Mohs de aproximadamente 9, y su resistencia al desgaste es superada solo por el diamante. El carburo de titanio (TiC) es un sistema cúbico (grupo espacial Fm3m), con una dureza de HV 1800-2200 y una densidad de $4,93 \text{ g/cm}^3$, adecuado para escenarios de peso ligero. El carburo de tántalo (TaC) y el carburo de niobio (NbC) son resistentes a la oxidación a alta temperatura ($>1000 \text{ °C}$). Según un informe publicado en la Revista de Ciencia de Materiales en 2025, la adición de un 3 % de TaC aumenta la resistencia a la oxidación en un 40 % a 1200 °C. El tamaño de grano se controla entre 0,1 y 10 micras; los granos ultrafinos ($<1 \text{ micra}$) tienen una dureza de HV 2400-2600 y una tenacidad a la fractura de $8-10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$.

Las propiedades cristalográficas se caracterizan mediante difracción de rayos X (DRX) y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

microscopía electrónica de transmisión (MET). El pico de difracción del plano cristalino (001) del WC refleja la orientación del grano, y la baja densidad de defectos del TiC ($<10^9 \text{ cm}^{-2}$) garantiza la estabilidad. En 2025, la Academia China de Ciencias utilizó la DRX con radiación de sincrotrón para optimizar la energía del límite de grano del WC (aproximadamente 1 J/m^2), lo que incrementó la dureza en un 10 %.

1.1.2 Función y selección de la fase de unión del carburo cementado (Co, Ni, etc.)

El cobalto (Co) es la principal fase de enlace, con una fracción de masa de 6%-20%, una estructura cúbica centrada en la cara (FCC), un punto de fusión de 1495°C y excelente humectabilidad (ángulo de contacto de aproximadamente 5°). Durante la sinterización en fase líquida (1320°C), el Co llena los espacios entre las partículas de WC, con una densidad de $>99\%$. La dureza del carburo cementado que contiene 6% de Co es HV 1800; la tenacidad del carburo cementado que contiene 12% de Co alcanza $K_{IC} \approx 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. El níquel (Ni) tiene una fuerte resistencia a la corrosión (pérdida de peso en la prueba de niebla salina $<0,1 \text{ mg/cm}^2$), pero la resistencia a la flexión es de aproximadamente 3000 MPa (inferior a los 4000 MPa del Co). En 2025, la revista Journal of Alloys and Compounds informó que la resistencia a la corrosión de la fase de unión Co-Ni-Cr se mejoró en un 50 %. La distribución de la fase de unión se optimizó mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) y espectroscopia de energía dispersiva (EDS), con una segregación de Co $<5\%$ y una resistencia de la interfaz $>50 \text{ MPa}$.

1.2 Historia del desarrollo del carburo cementado

El desarrollo centenario del carburo cementado abarca descubrimientos científicos, avances tecnológicos e innovaciones industriales, desde la exploración química en el siglo XIX hasta la fabricación ecológica e inteligente del siglo XXI. Esta sección combina literatura inglesa, china y alemana para analizar sus orígenes, la industrialización, la globalización y el auge de China, destacando cifras clave, parámetros de proceso y cambios en el mercado.

1.2.1 Mediados del siglo XIX hasta la década de 1900: Exploración química y primeros intentos con carburo de tungsteno

1890 : Primera síntesis de carburo de tungsteno

En la década de 1890, el desarrollo del carburo cementado dio un paso importante. El químico francés Henri Moissan utilizó un horno de arco eléctrico casero para sintetizar carburo de tungsteno (WC) por primera vez mediante la reacción de carbono con polvo de tungsteno a altas temperaturas. El experimento de Moissan se llevó a cabo en París. Utilizó el entorno de alta temperatura (cerca de 3000°C) creado por el horno de arco eléctrico para reaccionar tungsteno con carbono para producir cristales hexagonales de WC. Este descubrimiento sentó las bases para la investigación de materiales de alta dureza, y el WC atrajo mucha atención porque mostró una dureza cercana a la del diamante. Sin embargo, debido a la falta de tecnología de industrialización adecuada en ese momento, los resultados de Moissan se quedaron principalmente en la etapa de laboratorio y no lograron entrar en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aplicación práctica.

1896: Intentos industriales iniciales de WC

En 1896, William D. Coolidge, químico de General Electric (GE) en Estados Unidos, intentó aplicar el carburo de tungsteno a la industria. Propuso que el WC podría utilizarse como material alternativo a los moldes de diamante y diseñó un molde de estampación que contenía WC para procesar metales. Los experimentos de Coolidge se llevaron a cabo en el laboratorio de General Electric en Nueva York. Esperaba aprovechar la alta dureza del WC para mejorar la resistencia al desgaste del molde. Sin embargo, debido a la falta de una tecnología adhesiva adecuada, los moldes de WC mostraron poca tenacidad en el uso real, no soportaron altas presiones y no se aplicaron a gran escala. Aunque este intento fracasó, reveló el potencial industrial del WC y la importancia de la selección del adhesivo, lo que sentó las bases para investigaciones posteriores.

1923: Avance en el carburo cementado WC-Co

En 1923, Karl Schröter, ingeniero de Krupp en Alemania, hizo un gran avance en la investigación y el desarrollo del carburo cementado. Schröter estudió sistemáticamente el sistema compuesto de WC y aglutinantes en el laboratorio de Krupp en Essen, Alemania, y descubrió que el cobalto (Co) como aglutinante puede mejorar significativamente el rendimiento del material. Desarrolló con éxito el carburo cementado WC-Co y obtuvo una patente alemana (DRP 420689). Esta fórmula utiliza un proceso de sinterización en fase líquida para unir partículas de WC con cobalto para producir un material con alta dureza y cierta tenacidad. El avance de Schröter terminó con la situación en la que el carburo cementado había estado en el laboratorio durante mucho tiempo, sentó las bases técnicas para la producción industrial y también marcó el punto de inflexión para que el carburo cementado pasara de la investigación teórica a la aplicación práctica.

1925: Lanzamiento de la marca WIDIA

En 1925, gracias a los logros de Schröter, la empresa alemana Krupp lanzó oficialmente la marca de carburo cementado "WIDIA" (Wie Diamant, que significa "como el diamante"). WIDIA fue el primer producto comercial de carburo cementado del mundo. Su planta de producción se encuentra en Essen, Alemania, y se utiliza principalmente para la fabricación de herramientas de corte. El rendimiento de corte de las herramientas WIDIA supera con creces el de las herramientas de acero rápido de la época. La velocidad de corte aumentó de 30 m/min a 80 m/min, y la eficiencia del procesamiento del acero se triplicó. El proceso de producción de WIDIA incluye etapas como el fresado de bolas, el prensado y la sinterización en fase líquida. Este proceso se ha convertido en el estándar para la industrialización del carburo cementado. El lanzamiento de WIDIA no solo impulsó el desarrollo de la industria alemana de procesamiento mecánico, sino que también abrió un mercado para la industria global del carburo cementado.

1927: Los cuchillos WIDIA debutan en el escenario internacional

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

En 1927, Krupp presentó las herramientas WIDIA a la Exposición Mecánica de Leipzig, Alemania. Esta fue la primera vez que WIDIA se presentó a nivel internacional, y su excelente rendimiento de corte atrajo la atención de fabricantes de Suecia, Estados Unidos y otros países. Durante la exposición, las herramientas WIDIA demostraron su excepcional rendimiento en el procesamiento de acero y fundición, con una eficiencia de corte y una vida útil significativamente superiores a las de los materiales tradicionales. Numerosos fabricantes mostraron gran interés en WIDIA y negociaron la colaboración con Krupp. El éxito de la Exposición Mecánica de Leipzig convirtió a WIDIA en un referente en el campo del carburo cementado e impulsó la difusión global de su tecnología.

1928: La tecnología WIDIA se exporta al Reino Unido

En 1928, la empresa británica Mond Nickel y Krupp firmaron un acuerdo de licencia tecnológica y adquirieron la tecnología de producción de WIDIA. Mond Nickel estableció una fábrica en el Reino Unido y comenzó a producir herramientas de minería de carburo cementado con cobalto, principalmente para la minería de oro en Sudáfrica. Los estratos de las minas de oro sudafricanas son duros y las herramientas tradicionales se desgastan con gran rapidez. Sin embargo, las herramientas WIDIA mejoran considerablemente la eficiencia de la minería gracias a su alta dureza y resistencia al desgaste. Esta cooperación marcó el inicio de la expansión de la tecnología de carburo cementado más allá de Alemania y su entrada en el mercado internacional, además de impulsar el desarrollo de la industria minera británica.

1929: Estados Unidos introduce la tecnología WIDIA

En 1929, General Electric (GE) de Estados Unidos introdujo la tecnología de producción WIDIA en colaboración con Krupp. La fábrica de GE en Nueva York comenzó a producir productos de carburo cementado, abasteciendo principalmente a la industria automotriz estadounidense para el procesamiento de piezas de motores y carrocerías. La demanda de herramientas de corte de alta eficiencia en la industria automotriz impulsó la rápida aplicación del carburo cementado, y la introducción de GE impulsó la consolidación de la tecnología WIDIA en Estados Unidos. Durante este período, el carburo cementado entró en su fase inicial de industrialización y se comenzó a formar una red mundial de producción y aplicación de carburo cementado.

1932: La empresa sueca Sandvik entra en el campo del carburo cementado.

En 1932, la empresa sueca Sandvik desarrolló productos de carburo cementado basados en la fórmula WC-Co, centrándose en el procesamiento de acero inoxidable. La fábrica de Sandvik en Sandviken, Suecia, aprovechó su experiencia en el campo de la metalurgia para producir herramientas de carburo cementado de alto rendimiento, ampliamente utilizadas en la fabricación mecánica. La entrada de Sandvik expandió aún más las aplicaciones del carburo cementado en el corte, y sus productos gozaron de gran popularidad en el mercado gracias a su alta resistencia al

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

desgaste y estabilidad. La entrada de Sandvik también intensificó la competencia en la industria del carburo cementado e impulsó el avance continuo de la tecnología.

1935: De Beers en el Reino Unido prueba los cuchillos WC

En 1935, la empresa británica De Beers intentó utilizar herramientas de carburo basadas en WC para cortar metales no ferrosos como el cobre y el aluminio. De Beers realizó experimentos en su fábrica de Sudáfrica y descubrió que las herramientas de WC presentaban una mayor eficiencia en el procesamiento de metales no ferrosos, con mayor velocidad de corte y mayor vida útil que las herramientas tradicionales. Sin embargo, al procesar acero, las herramientas de WC presentaban un rendimiento deficiente debido al desgaste químico y no lograron reemplazar por completo a las herramientas de acero de alta velocidad. El intento de De Beers demostró la diferencia en la aplicabilidad del carburo en el procesamiento de diferentes materiales y también sentó las bases para posteriores mejoras de materiales.

1936: Estados Unidos desarrolló el carburo cementado basado en TiC .

En 1936, Carborundum Corporation, de Estados Unidos, desarrolló un carburo cementado a base de carburo de titanio (TiC). En comparación con los materiales a base de WC, el carburo cementado a base de TiC presenta una menor densidad y una mejor resistencia a la oxidación, siendo adecuado para el procesamiento de aleaciones de alta temperatura. La fábrica de Carborundum en Pensilvania produjo el primer lote de herramientas de corte a base de TiC, que se suministraron principalmente a la industria aeronáutica para el procesamiento de piezas de aleación de alta temperatura. La aparición del carburo cementado a base de TiC ha enriquecido los tipos de carburo cementado y ampliado sus aplicaciones en entornos de alta temperatura.

1938: Japón optimiza el sistema compuesto TiC -WC

En 1938, Sumitomo Electric Corporation de Japón optimizó aún más el sistema compuesto de TiC -WC y desarrolló un material de carburo cementado con un rendimiento más equilibrado. El centro de I+D de Sumitomo Electric en Osaka produjo herramientas de carburo cementado aptas para cortar acero mediante el ajuste de la proporción de TiC y WC. En comparación con los materiales basados exclusivamente en WC, el sistema compuesto de TiC -WC logra un mejor equilibrio entre dureza y resistencia al desgaste, lo que lo hace más competitivo en el campo del procesamiento mecánico. La investigación y el desarrollo de Sumitomo Electric marcaron el auge de la tecnología japonesa de carburo cementado y también impulsaron el desarrollo de la industria manufacturera japonesa.

1940-1945: La Segunda Guerra Mundial cataliza la demanda de carburo cementado

De 1940 a 1945, durante la Segunda Guerra Mundial, la demanda de carburo cementado creció rápidamente. La fábrica de la empresa alemana Krupp en Essen produjo en masa carburo cementado WC-Co para la fabricación de núcleos de proyectiles, lo que mejoró significativamente la capacidad

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de perforación de blindaje y se utilizó en equipos como el tanque Tiger. General Electric, de Estados Unidos, suministró herramientas de carburo cementado a los Aliados, principalmente para procesar piezas de motores de aeronaves y satisfacer las necesidades de la industria aeronáutica en tiempos de guerra. La alta demanda durante la guerra impulsó la mejora de la tecnología de producción de carburo cementado y el rápido crecimiento de la producción, además de acelerar la transformación del carburo cementado del laboratorio a la aplicación industrial a gran escala.

1947: Sumitomo Electric de Japón desarrolló el carburo cementado TiC-TaC

En 1947, Sumitomo Electric Corporation de Japón desarrolló el carburo cementado de TiC-TaC, mejorando aún más el rendimiento del material. La fábrica de Sumitomo Electric en Osaka produjo herramientas de carburo cementado aptas para la industria automotriz mediante la adición de carburo de tantalio (TaC), utilizado principalmente para el mecanizado de piezas de alta precisión como cigüeñales. El carburo cementado de TiC-TaC ofrece un excelente rendimiento a altas temperaturas y resistencia al desgaste, satisfaciendo las necesidades del rápido desarrollo de la industria automotriz japonesa tras la guerra. La innovación de Sumitomo Electric ha consolidado su posición en el campo del carburo cementado.

1949: La empresa sueca Seco Tools lanza herramientas para minería.

En 1949, la empresa sueca Seco Tools lanzó herramientas de carburo diseñadas específicamente para la minería. Seco Tools produjo el primer lote de productos en su fábrica de Fagersta, Suecia, y los exportó a las minas de hierro de Australia. Los estratos de hierro australianos son duros y las herramientas tradicionales son difíciles de manipular. Sin embargo, las herramientas de carburo de Seco Tools han mejorado considerablemente la eficiencia minera gracias a su alta resistencia al impacto y al desgaste. Esta cooperación exportadora expandió aún más la aplicación del carburo en el sector minero y conquistó el mercado internacional para Seco Tools.

1950: Las licencias de tecnología impulsan la difusión global

En 1950, General Electric de Estados Unidos y Sandvik de Suecia firmaron un acuerdo de licencia tecnológica que impulsó la expansión global de la tecnología de carburo cementado. General Electric compartió con Sandvik su tecnología de producción optimizada en Estados Unidos, y Sandvik transmitió a General Electric su experiencia en Europa. Esta cooperación aceleró la expansión de la tecnología de carburo cementado, permitió que más países introdujeran procesos de producción avanzados e impulsó su aplicación industrial en todo el mundo.

1953: Se introduce la tecnología de prensado isostático en caliente

En 1953, Kennametal introdujo la tecnología de prensado isostático en caliente (HIP) para la producción de carburo cementado. La planta de Kennametal en Pensilvania utiliza equipos HIP para eliminar los poros durante la sinterización mediante alta temperatura y alta presión (protección con

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

argón), mejorando así la densidad y el rendimiento del carburo cementado. La aplicación de la tecnología HIP mejora significativamente la resistencia al desgaste y la solidez de las herramientas de carburo cementado, prolonga su vida útil y proporciona mejores herramientas para el mecanizado de alta precisión.

1965: Avance en la tecnología de recubrimiento CVD

En 1965, la empresa sueca Seco Tools desarrolló la tecnología de recubrimiento de nitruro de titanio (TiN) mediante deposición química de vapor (CVD). El centro de I+D de Seco Tools en Fagersta depositó un recubrimiento de TiN sobre la superficie de herramientas de carburo cementado mediante el proceso de CVD, mejorando significativamente la resistencia al desgaste y la velocidad de corte de las herramientas. Esta tecnología permite que las herramientas de carburo cementado trabajen a temperaturas y velocidades más altas, satisfaciendo así las necesidades de la fabricación moderna de herramientas de corte eficientes y marcando un avance revolucionario en la tecnología de recubrimiento en el campo del carburo cementado.

1968: Se introduce el recubrimiento de alúmina.

En 1968, Carbide Corporation de Estados Unidos introdujo la tecnología de recubrimiento de alúmina (Al_2O_3) por CVD. La fábrica de Carbide en Pensilvania depositó un recubrimiento de alúmina sobre la superficie de las herramientas de carburo mediante el proceso de CVD, lo que mejoró su durabilidad en entornos de alta temperatura. El recubrimiento de alúmina es especialmente adecuado para el procesamiento de aleaciones a alta temperatura, como en la fabricación de piezas de motores de aviación. Gracias a su excelente resistencia a las altas temperaturas y al desgaste químico, la vida útil de la herramienta se prolonga significativamente.

1970: Se establece la norma ISO 513

En 1970, la Organización Internacional de Normalización (ISO) desarrolló la norma de clasificación de herramientas ISO 513. Esta norma unificó las especificaciones y la clasificación de las herramientas de carburo cementado y promovió la estandarización del comercio global. La implementación de la norma ISO 513 permitió a los fabricantes de herramientas de diferentes países producir y vender productos bajo estándares unificados, reduciendo las barreras comerciales y promoviendo la expansión del mercado internacional de herramientas de carburo cementado.

1975: El auge de la tecnología de recubrimiento PVD

En 1975, Mitsubishi Metal Corporation de Japón desarrolló la tecnología de recubrimiento de TiN mediante deposición física de vapor (PVD). El centro de I+D de Mitsubishi Metal en Tokio depositó el recubrimiento de TiN sobre la superficie de herramientas de carburo cementado mediante el proceso PVD, que se popularizó por su idoneidad para el corte en seco. En comparación con el proceso CVD, la tecnología PVD ofrece una temperatura de deposición más baja, lo que

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

reduce el impacto en el rendimiento del sustrato y amplía aún más el rango de aplicación de las herramientas de carburo cementado.

1978: El recubrimiento TiAlN mejora el rendimiento a altas temperaturas

En 1978, la empresa sueca Sandvik introdujo la tecnología de recubrimiento PVD TiAlN. Sandvik desarrolló este recubrimiento de TiN con aluminio en su centro de I+D de Sandviken. Gracias a su excelente rendimiento a altas temperaturas, se utiliza ampliamente en el procesamiento de aleaciones a alta temperatura, como el corte de aleaciones a base de níquel en el sector aeroespacial. La introducción del recubrimiento TiAlN permite que las herramientas de carburo cementado mantengan la estabilidad y la resistencia al desgaste a temperaturas más altas, lo que impulsa el desarrollo de herramientas de corte de alto rendimiento.

1980: Las exportaciones japonesas crecen

En 1980, Japón se convirtió en un importante productor de carburo cementado y sus productos se exportaron en grandes cantidades a la industria automotriz estadounidense. Empresas japonesas como Mitsubishi Metal y Sumitomo Electric contaban con ventajas técnicas en la producción de herramientas de carburo cementado, y sus herramientas eran apreciadas por el mercado estadounidense debido a su alta precisión y durabilidad. Durante este período, la industria japonesa del carburo cementado experimentó un rápido crecimiento gracias a las exportaciones, lo que impulsó aún más su aplicación global.

1983: Optimización de recubrimientos PVD TiAlN

En 1983, Plansee de Alemania optimizó la tecnología de recubrimiento PVD TiAlN. La fábrica de Plansee en Reutte, Austria, mejoró el proceso PVD para mejorar la resistencia a altas temperaturas y la dureza del recubrimiento TiAlN, lo que aumentó la estabilidad del rendimiento de la herramienta durante el corte. Esta mejora permite que las herramientas de carburo soporten velocidades más altas y condiciones de corte más exigentes, satisfaciendo así las crecientes necesidades del sector industrial.

Se lanza el recubrimiento compuesto CVD TiC - Al₂O₃

En 1985, Kennametal introdujo la tecnología de recubrimiento compuesto de TiC - Al₂O₃ por CVD. La fábrica de Kennametal en Pensilvania depositó recubrimientos compuestos de TiC y Al₂O₃ en la superficie de herramientas de carburo mediante el proceso de CVD, mejorando así la resistencia de la herramienta al desgaste químico. Este recubrimiento es especialmente adecuado para el procesamiento de acero inoxidable, ya que su estabilidad en entornos de alta temperatura y corrosión química prolonga aún más la vida útil de la herramienta.

1990: Promoción de la tecnología de recuperación de la fundición de zinc

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En 1990, la empresa sueca Sandvik promovió la tecnología de reciclaje por fundición de zinc para la reutilización de residuos de carburo cementado. La fábrica de Sandvik en Sandviken utilizó el método de fundición de zinc para separar y reciclar el WC y el cobalto presentes en los residuos de carburo cementado, lo que mejoró considerablemente la tasa de utilización de recursos. La promoción de esta tecnología redujo la dependencia de la producción de carburo cementado de los recursos primarios de tungsteno y promovió el desarrollo sostenible de la industria.

1995: La norma ISO 9001 se populariza

En 1995, se fundó la Asociación Internacional de Tungsteno (ITIA) para promover el intercambio y la cooperación en las industrias globales del tungsteno y el carburo cementado. La creación de la ITIA impulsó la investigación y la promoción de tecnologías de reciclaje, así como el desarrollo sostenible de la industria del carburo cementado. Ese mismo año, la certificación de calidad ISO 9001 se popularizó en la industria del carburo cementado. Muchas empresas mejoraron la calidad de sus productos y su competitividad en el mercado gracias a la certificación, lo que impulsó el crecimiento de las exportaciones de herramientas de carburo cementado.

2003: Desarrollo de carburo cementado de grado nanométrico

En 2003, la empresa sueca Sandvik desarrolló el carburo cementado WC-Co a escala nanométrica. El centro de I+D de Sandvik en Sandviken mejoró la dureza y la tenacidad del material controlando el tamaño de grano de WC a escala nanométrica. El carburo cementado a escala nanométrica se utiliza ampliamente en campos de mecanizado de precisión, como la fabricación de componentes electrónicos, gracias a su excelente rendimiento integral, lo que impulsa aún más el desarrollo de la tecnología de carburo cementado de vanguardia.

2005: Optimización del recubrimiento CVD TiAlN

En 2005, Kennametal optimizó la tecnología de recubrimiento CVD TiAlN. La fábrica de Kennametal en Pensilvania mejoró la resistencia a altas temperaturas del recubrimiento TiAlN mediante la optimización del proceso CVD, lo que permite que la herramienta mantenga la estabilidad a temperaturas más altas. Esta tecnología es especialmente adecuada para el procesamiento de aleaciones a alta temperatura en el sector aeroespacial, ampliando aún más el rango de aplicación del carburo cementado.

2010: Avances en la tecnología del reciclaje

En 2010, el volumen mundial de reciclaje de carburo cementado aumentó gradualmente, y países como Suecia se posicionaron a la vanguardia en tecnología de reciclaje. Empresas como Sandvik mejoraron la eficiencia del reciclaje de carburo cementado residual mediante mejoras en el método de fundición de zinc y otros procesos de reciclaje, reduciendo así el consumo de energía y el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

desperdicio de recursos en el proceso de producción. Esta tendencia ha impulsado el proceso de fabricación ecológico en la industria del carburo cementado.

2012: Aplicación de la tecnología de fabricación aditiva

En 2012, la empresa alemana EOS utilizó la tecnología de fusión por láser de lecho de polvo para producir moldes porosos de WC-Co. La fábrica de EOS en Múnich empleó la tecnología de fabricación aditiva para producir moldes porosos con estructuras complejas, acortando significativamente el ciclo de producción y reduciendo el consumo de material. La introducción de la tecnología de fabricación aditiva ha abierto nuevas posibilidades para la producción de carburo cementado y ha impulsado el desarrollo de una producción personalizada y eficiente.

2018: Lanzamiento de herramientas de fabricación aditiva

En 2018, la empresa sueca Sandvik lanzó herramientas de carburo fabricadas mediante fabricación aditiva. La fábrica de Sandvik en Sandviken utiliza tecnología de impresión 3D para producir herramientas con geometrías complejas, mejorando el rendimiento de corte y la flexibilidad de producción. El lanzamiento de las herramientas de fabricación aditiva supone una nueva innovación en la tecnología de fabricación de carburo, aportando mayor eficiencia al sector industrial.

2020: Profundización de la fabricación verde

En 2020, la tendencia de fabricación ecológica en la industria del carburo cementado se profundizó. Las tecnologías de reciclaje se optimizaron a nivel mundial, las tasas de reciclaje siguieron aumentando y el consumo de energía se redujo significativamente. Empresas de países como Suecia y Alemania siguen liderando el reciclaje y la reutilización, reduciendo su dependencia de los recursos primarios de tungsteno mediante la innovación tecnológica y promoviendo el desarrollo sostenible de la industria del carburo cementado.

2023: Aplicación de tecnología inteligente

En 2023, Mitsubishi Metal Corporation de Japón desarrolló una tecnología de optimización del proceso de sinterización basada en IA. El centro de I+D de Mitsubishi Metal en Tokio utilizó algoritmos de inteligencia artificial para optimizar la temperatura y el tiempo de sinterización del carburo cementado, mejorando así la eficiencia de la producción y el rendimiento de las herramientas. La aplicación de tecnología inteligente aumenta la precisión y la eficiencia de la producción de carburo cementado, impulsando la industria.

El desarrollo del carburo cementado comenzó con la primera síntesis de carburo de tungsteno de Henri Moissan a finales del siglo XIX y ha experimentado importantes avances industriales a principios del siglo XX, un rápido crecimiento durante la Segunda Guerra Mundial, avances revolucionarios en la tecnología de recubrimiento y las etapas de la nanofabricación, la fabricación aditiva y la inteligencia ecológica del siglo XXI. Gracias a la innovación tecnológica y la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cooperación global, el carburo cementado se ha convertido en un material indispensable para la industria moderna, impulsando continuamente el avance de la industria manufacturera.

1.2.7 Historia del desarrollo del carburo cementado en China

La industria china del carburo cementado ha crecido desde un inicio difícil en la década de 1950 hasta convertirse en un líder mundial. Gracias a la abundancia de recursos de tungsteno (1,9 millones de toneladas de reservas, que representan el 57 % de la producción mundial, según USGS 2025), el apoyo político (como "Hecho en China 2025") y los clústeres industriales regionales, la producción alcanzará las 58 000 toneladas en 2024, lo que representa el 58 % de la producción mundial (Asociación de la Industria del Tungsteno de China 2024). Zhuzhou (la capital del carburo cementado), Ganzhou (la capital del tungsteno de China) y Xiamen (centro de exportación de herramientas) han formado un modelo de desarrollo coordinado. Esta sección se basa en las cuatro etapas de introducción detallada de tecnología, innovación independiente, expansión global e inteligencia ecológica, y explora en profundidad la contribución de las empresas, los avances tecnológicos, las características regionales y los impulsores de las políticas.

1.2.7.1 Década de 1950-1980 : Introducción de la tecnología y fundación de la industria

Dalian Iron and Steel Works (ahora Dalian Special Steel Co., Ltd. de Northeast Special Steel Group) es pionera en el campo del acero especial en China, con una historia que se remonta a 1905. En los primeros días de la fundación de la Nueva China, Dalian Iron and Steel Works logró resultados notables en la producción experimental de carburo cementado, que se convirtió en un hito importante en la industria metalúrgica de China.

Según datos históricos, la Planta Siderúrgica de Dalian no solo se centró en la producción de aceros especiales entre 1947 y 1951, sino que también llevó a cabo experimentos de carburo cementado. En concreto, la planta fundió con éxito aleaciones de aluminio-cromo, aleaciones de níquel-cobre y carburo cementado, completando así la historia metalúrgica de China en aquel momento. Estos carburos cementados producidos experimentalmente se utilizaron principalmente en productos militares, como la fabricación de ojivas de artillería y resortes para el Cañón de Infantería 92, lo que supuso un apoyo clave para la Guerra de Liberación Nacional. Durante este período, la Planta Siderúrgica de Dalian fundió un total de 28.736 toneladas de acero, parte de las cuales se utilizaron para forja y laminación, contribuyendo directa o indirectamente a los experimentos relacionados con el carburo cementado.

Además, en noviembre de 1950, la Planta de Hierro y Acero de Dalian, por orden del Ministerio Central de Industria Pesada, trasladó 1600 toneladas de equipos, incluyendo equipos de carburo cementado, a la Planta de Acero Daye en la ciudad de Huangshi, provincia de Hubei, para apoyar la construcción de la Compañía de Hierro y Acero de China Central. Este lote incluía equipos especiales para la producción experimental de carburo cementado, lo que indicaba que la Planta de Hierro y Acero de Dalian había acumulado cierta tecnología en la producción experimental de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

carburo cementado.

Si bien estas producciones experimentales no propiciaron una industrialización a gran escala en su momento, sentaron las bases para el posterior desarrollo de la industria china del carburo cementado. El establecimiento de la Planta de Carburo Cementado de Zhuzhou en 1954 marcó el inicio de la producción industrializada de carburo cementado en China, y los primeros experimentos de la Planta de Hierro y Acero de Dalian fueron, sin duda, un importante preludio de este proceso.

1954: El punto de partida de la industria del carburo cementado de China

se fundó oficialmente la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou (actualmente Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., afiliada a China Tungsten High- Tech) en Zhuzhou, Hunan. Este acontecimiento marcó el inicio de la industria del carburo cementado en China y un hito importante en el proceso de industrialización de la Nueva China. Como uno de los 156 proyectos clave del "Primer Plan Quinquenal" (1953-1957), la fundación de la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou plasmó las grandes expectativas del país en el desarrollo de las industrias básicas y los materiales estratégicos.

Antecedentes e importancia de la construcción de la planta de carburo cementado de Zhuzhou

El Primer Plan Quinquenal fue el primer plan quinquenal formulado tras la fundación de la Nueva China. Su objetivo era mejorar rápidamente la capacidad de la base industrial mediante la introducción de tecnología y equipos soviéticos. La ubicación de la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou se eligió en Zhuzhou, Hunan, debido a su rica riqueza mineral de tungsteno, especialmente los yacimientos de tungsteno representados por la mina polimetálica de Shizhuyuan, que ofrece ventajas únicas como materia prima para la producción de carburo cementado. Además, Zhuzhou se encuentra en el curso medio del río Xiangjiang, con fácil acceso a las comunicaciones, el transporte de materiales y una distribución industrial óptima. Como material compuesto de alta dureza y resistencia al desgaste, el carburo cementado desempeña un papel fundamental en la producción industrial, especialmente en la minería, el procesamiento mecánico y la industria de defensa. A principios de la década de 1950, la base industrial de China era débil y el carburo cementado dependía principalmente de las importaciones, cuyo suministro era costoso e inestable. La creación de la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou no solo llenó el vacío en la producción nacional de carburo cementado, sino que también sentó las bases para el posterior desarrollo industrial. Se la conoce como la "cuna de la industria del carburo cementado de China".

Introducción de tecnología y producción inicial de la planta de carburo cementado de Zhuzhou

La Planta de Carburo Cementado de Zhuzhou introdujo la tecnología soviética en sus inicios y adoptó el proceso de pulvimetalurgia, relativamente maduro en aquel entonces. La Unión Soviética contaba con una amplia experiencia en el campo del carburo cementado. Ya en 1929, G. A. Meerson desarrolló el primer carburo cementado WC-10%Co (marca "POBEDIT") en la Central Eléctrica de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Moscú. La Planta de Zhuzhou aprovechó esta vía técnica para producir carburo cementado a base de WC-Co (carburo de tungsteno-cobalto), utilizado principalmente en minería y herramientas de corte. El proceso de producción incluye etapas como la preparación, mezcla, prensado y sinterización del polvo de tungsteno. Los productos iniciales eran principalmente grados simples para satisfacer las necesidades de la minería y el procesamiento mecánico básico. Por ejemplo, las perforadoras de roca utilizadas en minería pueden mejorar significativamente la eficiencia de la extracción de roca y contribuir a la construcción de proyectos nacionales clave en aquel momento, como la mina de carbón de Xishan. Además, el uso de herramientas de corte de carburo cementado también garantiza el procesamiento de equipos en empresas metalúrgicas como Anshan Iron and Steel.

La influencia histórica de la fábrica de carburo cementado de Zhuzhou

La puesta en marcha de la Planta de Carburo Cementado de Zhuzhou marcó un hito en el desarrollo del carburo cementado en China. La producción en 1954 no solo satisfizo las necesidades de la industria básica nacional, sino que también sentó las bases para la posterior acumulación tecnológica y la expansión industrial. Más importante aún, este proyecto representó los resultados de la cooperación chino-soviética y demostró el espíritu de autosuficiencia y superación de la Nueva China en el ámbito industrial.

1958: Desarrollo bajo el Primer Plan Quinquenal

En 1958, como el último año del Primer Plan Quinquenal, la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou continuó expandiendo su capacidad de producción para satisfacer aún más la creciente demanda del país de carburo cementado, especialmente para aplicaciones en exploración geológica.

Antecedentes y requisitos

1958 fue el último año del Primer Plan Quinquenal. El proceso de industrialización del país se aceleró y la demanda de exploración geológica y desarrollo de recursos aumentó drásticamente. La exploración geológica requiere un gran número de perforadoras de carburo cementado para perforar rocas y determinar la distribución de los recursos minerales. Sin embargo, la producción nacional de carburo cementado aún era limitada en ese momento y era difícil satisfacer la demanda. La expansión de la Planta de Carburo Cementado de Zhuzhou se convirtió en la clave para resolver este cuello de botella.

Mejora de la capacidad de producción

La planta de Zhuzhou ha mejorado aún más la producción y la calidad del carburo cementado mediante la ampliación de la planta y la optimización del proceso de producción. Las brocas de carburo cementado producidas se utilizan ampliamente en el campo de la exploración geológica; por ejemplo, han desempeñado un papel importante en proyectos de exploración petrolera y minera

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

en el norte y suroeste de China. El uso de estas brocas no solo mejora la eficiencia de la exploración, sino que también constituye un importante apoyo a la estrategia nacional de recursos.

Importancia socioeconómica

Durante el Primer Plan Quinquenal, el desarrollo constante de la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou contribuyó a la mejora del sistema industrial chino. Como motor de la industria, el carburo cementado incide directamente en la eficiencia de sectores como la minería, la metalurgia y el procesamiento mecánico. Mediante la producción independiente, China redujo gradualmente su dependencia del carburo cementado importado, redujo los costos industriales y formó un grupo de talentos técnicos que reservó fuerza para el desarrollo posterior.

1960: Cooperación técnica y expansión de aplicaciones

En 1960, la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou cooperó con el Instituto de Investigación de Metales No Ferrosos de Pekín para desarrollar carburo cementado con carburo de titanio (TiC) y aplicarlo en la perforación petrolera. Esta cooperación marcó el inicio del desarrollo de la tecnología de carburo cementado en China, desde una única dirección hacia un desarrollo diversificado.

Antecedentes de cooperación

El Instituto de Investigación de Metales No Ferrosos de Beijing (actualmente Instituto de Investigación de Metales No Ferrosos de China) es una de las instituciones de investigación científica más importantes, fundada tras la fundación de la Nueva China, y se centra en la investigación y el desarrollo de metales no ferrosos y materiales de aleación. En 1960, durante el vigoroso desarrollo de la industria petrolera del país, la demanda de brocas de carburo cementado para la perforación petrolera se disparó. El carburo cementado WC-Co tradicional presentaba una resistencia al desgaste y una estabilidad insuficientes en entornos de alta temperatura y alta presión . El carburo cementado con carburo de titanio (TiC) se ha convertido en la opción ideal gracias a su mayor dureza y resistencia térmica.

Avance tecnológico

La planta de Zhuzhou colaboró con el Instituto de Investigación de Metales No Ferrosos de Pekín para ajustar la microestructura del carburo cementado mediante la adición de carburo de titanio (TiC) y así mejorar el rendimiento general del material. La adición de TiC mejora la dureza y la resistencia a altas temperaturas de la aleación, lo que la hace más adecuada para su aplicación en condiciones geológicas complejas en la perforación petrolera. Por ejemplo, en la perforación de yacimientos petrolíferos en la Cuenca de Sichuan y otras regiones, esta nueva broca de carburo cementado ha demostrado una buena resistencia al desgaste y estabilidad, prolongando significativamente su vida útil.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aplicación e impacto

El carburo cementado con TiC no solo satisface las necesidades urgentes de la industria petrolera, sino que también promueve su aplicación y exploración en otros campos. A principios de la década de 1960, la industria petrolera china se encontraba en una etapa de rápido desarrollo. Las brocas de carburo cementado de producción independiente brindaron un importante apoyo al desarrollo de los yacimientos petrolíferos y redujeron la dependencia de materiales importados. Al mismo tiempo, esta cooperación también sentó un ejemplo para la investigación y el desarrollo técnico de la industria china del carburo cementado y sentó las bases para la integración de la industria, el mundo académico y la investigación.

1960 : Desarrollo tecnológico limitado y autosuficiencia

1960 , la investigación y el desarrollo tecnológico de la fábrica de carburo cementado de Zhuzhou se vieron obstaculizados en cierta medida por la Revolución Cultural (1966-1976), pero a través del espíritu de autosuficiencia, la fábrica optimizó la fórmula y continuó satisfaciendo las necesidades de mecanizado nacionales.

Antecedentes históricos

Durante la Revolución Cultural, la investigación científica y los sistemas industriales de China se vieron gravemente afectados, y la producción de muchas instituciones y fábricas de investigación científica se vio interrumpida. El trabajo de unidades de investigación científica, como el Instituto de Investigación de Metales No Ferrosos de Pekín, se estancó, y la cooperación técnica con la planta de Zhuzhou también se vio afectada. Los técnicos e ingenieros de la fábrica fueron transferidos de sus puestos, y algunos equipos de producción quedaron obsoletos por falta de mantenimiento.

Autosuficiencia y mantenimiento de la producción

A pesar de las dificultades, la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou ha continuado implementando mejoras técnicas y de producción de forma autónoma, utilizando los técnicos y equipos existentes. La fábrica optimizó la proporción de fórmula WC-Co y ajustó el proceso de sinterización para mejorar la tenacidad y la durabilidad de las herramientas. Estas herramientas se utilizan principalmente en el campo del procesamiento mecánico, como herramientas de corte para tornos y fresadoras, impulsando el desarrollo de la industria manufacturera básica nacional.

Importancia histórica

Ante la interrupción del apoyo técnico externo, la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou demostró su espíritu de autosuficiencia y mantuvo la continuidad de la producción de carburo cementado. La acumulación de tecnología durante este período sentó las bases para la introducción de nuevas tecnologías y un rápido desarrollo tras la reforma y la apertura . Al mismo tiempo, la fábrica formó un grupo de técnicos competentes capaces de perseverar en la producción en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

condiciones difíciles y reservó talentos para la posterior modernización industrial.

1970: Proyecto 704 y expansión de la producción

En 1970, el país lanzó el "Proyecto 704" y se amplió la fábrica de carburo cementado de Zhuzhou y aumentó la producción.

Antecedentes de ingeniería

El "Proyecto 704" es uno de los proyectos industriales clave lanzados por el estado a principios de la década de 1970, con el objetivo de mejorar la capacidad de producción de materiales estratégicos para apoyar la defensa nacional y la construcción industrial. Como empresa clave en la producción de carburo cementado, la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou se incluyó en este proyecto y recibió financiación nacional y apoyo político.

Contenido de expansión

La planta de Zhuzhou amplió el taller de producción, modernizó algunos equipos y aumentó aún más la producción de carburo cementado. Los productos de carburo cementado producidos se utilizan principalmente en los sectores de minería, procesamiento mecánico y defensa. Por ejemplo, las piezas de carburo cementado utilizadas para las piezas de desgaste de las orugas de los tanques desempeñan un papel importante en la industria de defensa.

Importancia histórica

La implementación del "Proyecto 704" refleja la gran atención que el país presta a la industria del carburo cementado. Gracias a la expansión, la capacidad de producción de la planta de Zhuzhou se ha incrementado significativamente, sentando las bases industriales para la reforma y la apertura a finales de la década de 1970. Al mismo tiempo, este proyecto refleja la planificación estratégica del país para el desarrollo industrial en un período histórico especial.

1978-1985: Reforma y apertura e introducción de tecnología

En 1978, se lanzó la política de reforma y apertura. Durante el Sexto Plan Quinquenal (1981-1985), la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou introdujo la tecnología sueca Sandvik para desarrollar herramientas recubiertas y mejorar el rendimiento de corte.

Antecedentes de la reforma y la apertura

En 1978, China implementó la política de reforma y apertura, y comenzó a introducir tecnologías avanzadas extranjeras en el sector industrial para compensar la brecha tecnológica nacional. Como material clave para la fabricación de alta gama, el carburo cementado necesita urgentemente mejorar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

su rendimiento y eficiencia de producción. La empresa sueca Sandvik es líder mundial en el sector del carburo cementado, y su tecnología de recubrimiento (como la deposición química en fase de vapor, CVD) ofrece ventajas significativas para mejorar la resistencia al desgaste de las herramientas y la eficiencia de corte.

Introducción y aplicación de la tecnología

Con el apoyo del Sexto Plan Quinquenal, la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou introdujo la tecnología de recubrimiento de Sandvik y desarrolló herramientas recubiertas de nitruro de titanio (TiN). El recubrimiento de TiN se deposita sobre el sustrato de carburo cementado mediante un proceso de deposición química de vapor (CVD), lo que mejora significativamente la dureza superficial y la resistencia al desgaste de la herramienta. Esta herramienta recubierta ofrece un excelente rendimiento de corte, siendo especialmente adecuada para el procesamiento de hierro fundido, acero y otros materiales, y se utiliza ampliamente en la fabricación de automóviles y las industrias de procesamiento mecánico.

Importancia histórica

La introducción de la tecnología Sandvik marca la transformación de la industria china del carburo cementado, que pasó de ser un seguidor de la tecnología a un absorbente de ella. El desarrollo de herramientas recubiertas no solo mejora la competitividad de los productos en el mercado, sino que también impulsa el crecimiento de las exportaciones, sentando las bases para que la planta de Zhuzhou se consolidara en el mercado internacional. La introducción de tecnología durante este período también generó experiencia para la innovación independiente posterior.

de 1980-2000 : Innovación independiente y mercantilización

1980: Cooperación técnica

En 1980, la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou colaboró con la Universidad de Tsinghua para optimizar el rendimiento del carburo cementado y satisfacer las necesidades de procesamiento de componentes electrónicos. El Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales de la Universidad de Tsinghua cuenta con una sólida capacidad de investigación científica para la optimización de microestructuras de carburo cementado. Esta colaboración se centra en mejorar la precisión y la estabilidad del carburo cementado para satisfacer las necesidades de moldes de alta precisión de la industria electrónica.

En 1985, se estableció la Asociación de la Industria del Tungsteno de China (CTIA).

Antecedentes y preparación para el establecimiento de la Asociación de la Industria del Tungsteno de China

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El origen de la Asociación de la Industria del Tungsteno de China está estrechamente relacionado con el desarrollo de la industria del tungsteno en China. A principios de la década de 1980, China, como el mayor productor y país con mayores recursos de tungsteno del mundo, contaba con reservas de tungsteno que representaban más del 40% del total mundial y una producción anual que representaba aproximadamente el 70% del total mundial. Los productos de tungsteno se utilizaban ampliamente en la fabricación de maquinaria, la minería, la industria aeroespacial y otros campos. Sin embargo, en ese momento, la industria del tungsteno de China se enfrentaba a numerosos desafíos: empresas dispersas, niveles técnicos desiguales, desarrollo desordenado de los recursos, feroz competencia en las exportaciones y grandes fluctuaciones en los precios del mercado internacional. Para resolver estos problemas, fortalecer la coordinación industrial, promover el progreso tecnológico y el uso racional de los recursos, el establecimiento de una organización industrial nacional se convirtió en una prioridad absoluta.

En 1981, el Ministerio de Industria Metalúrgica (entonces responsable de la gestión de la industria del tungsteno) presentó a la Comisión Económica Estatal el "Informe sobre el Establecimiento de la Asociación de la Industria del Tungsteno de China". El informe analizaba en detalle la situación actual de la industria del tungsteno, señalaba la necesidad de establecer una asociación industrial y sugería fortalecer la colaboración interempresarial y mejorar la competitividad del sector mediante dicha asociación. El 17 de septiembre de 1981, el Consejo de Estado aprobó formalmente esta propuesta y encargó a la Corporación de la Industria de Metales No Ferrosos de China que liderara los preparativos para el establecimiento de la asociación, en colaboración con el Ministerio de Industria Metalúrgica, el Ministerio de Industria de Maquinaria, el Ministerio de Comercio Exterior y otros departamentos pertinentes. Durante el período de preparación, la Corporación de la Industria de Metales No Ferrosos de China organizó numerosas encuestas y reuniones, invitó a las principales empresas mineras de tungsteno, empresas de procesamiento, institutos de investigación científica y unidades de diseño de todo el país a participar en el debate, redactó un borrador de los estatutos de la asociación y definió su marco organizativo y sus objetivos.

Conferencia fundacional de la Asociación de la Industria del Tungsteno de China

La Asociación de la Industria del Tungsteno de China celebró su conferencia fundacional y la primera conferencia de representantes de sus miembros en Nanchang, provincia de Jiangxi, del 20 al 25 de diciembre de 1985. Nanchang fue elegida como sede de la conferencia por ser la capital de Jiangxi, una provincia rica en recursos de tungsteno en China, y por su proximidad a importantes zonas productoras de tungsteno como Ganzhou. La conferencia, organizada por la Corporación de la Industria de Metales No Ferrosos de China, contó con la asistencia de más de 120 representantes de empresas de la industria del tungsteno, instituciones de investigación científica, unidades de diseño y departamentos gubernamentales pertinentes de todo el país. Durante la reunión, los delegados revisaron y aprobaron los "Estatutos de la Asociación de la Industria del Tungsteno de China" y eligieron a la primera junta directiva y a sus líderes.

El primer consejo estuvo compuesto por 47 directores. Zhang Jian, subdirector general de la Corporación de la Industria de Metales No Ferrosos de China, fue elegido primer presidente, y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

representantes de la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou (es decir, la Fábrica Zhuzhou 601) y de la Mina de Tungsteno de Ganzhou ocuparon los cargos de vicepresidentes. La conferencia también determinó el propósito de la asociación: promover el desarrollo sostenible de la industria del tungsteno en China, salvaguardar los derechos e intereses legítimos de la industria y sus miembros, y promover el progreso tecnológico, la conservación de recursos y la cooperación internacional. Durante la reunión, los delegados también debatieron a fondo sobre temas como la transformación tecnológica, el desarrollo del mercado y la gestión de recursos en la industria del tungsteno, y formularon diversas sugerencias para el desarrollo de la industria.

Objetivos y actividades iniciales de la Asociación de la Industria del Tungsteno de China

Tras su fundación, la Asociación de la Industria del Tungsteno de China definió varios objetivos de trabajo. En primer lugar, la asociación se compromete a coordinar las relaciones entre las empresas del sector, estandarizar el proceso de extracción y procesamiento del tungsteno y reducir la competencia desleal. En segundo lugar, promueve el progreso tecnológico en la industria del tungsteno mediante la organización de intercambios técnicos y capacitación, como la promoción de tecnologías avanzadas de procesamiento de minerales y los procesos de producción de carburo cementado. Además, participa activamente en la coordinación del mercado internacional del tungsteno, representa a la industria china del tungsteno en sus contactos con las organizaciones internacionales pertinentes y defiende los intereses de las empresas chinas en el mercado internacional.

Poco después de su fundación, la asociación organizó la primera reunión nacional de intercambio técnico de la industria del tungsteno en 1986, invitando a expertos técnicos de la fábrica Zhuzhou 601, la mina de tungsteno de Ganzhou y otras empresas a compartir nuevas tecnologías en el beneficio de concentrado de tungsteno y la producción de carburo cementado. En 1987, la asociación ayudó al gobierno a formular las "Medidas de Gestión de la Industria del Tungsteno (Prueba)", que proporcionaron orientación política para la minería y la exportación de tungsteno y, inicialmente, estandarizaron el ordenamiento de la industria.

Estructura organizativa de la Asociación de la Industria del Tungsteno de China

La Asociación de la Industria del Tungsteno de China es una organización social nacional, sin fines de lucro y con sede en la industria, cuyos miembros son empresas, instituciones de investigación científica, unidades de diseño y organizaciones sociales relacionadas con la industria del tungsteno. La asociación ha establecido una junta directiva como máximo órgano de decisión y una secretaría para la gestión diaria. La secretaría, ubicada inicialmente en Nanchang, se trasladó posteriormente a Pekín según las necesidades de la gestión de la industria. La asociación también ha establecido varios comités profesionales, como el Comité Técnico, el Comité de Mercado y el Comité de Gestión de Recursos, responsables de los intercambios técnicos, el análisis de mercado y la protección de los recursos, respectivamente.

Estado de desarrollo de la Asociación de la Industria del Tungsteno de China

A partir de 2025, los miembros de la Asociación de la Industria del Tungsteno de China cubren toda

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

la cadena industrial, incluyendo la minería, fundición y procesamiento de tungsteno, la producción de carburo cementado, la investigación científica y el desarrollo. Las unidades miembro incluyen China Tungsten High- Tech, incluyendo su subordinada Zhuzhou Cemented Carbide Group (anteriormente Zhuzhou 601 Factory), Zigong Cemented Carbide Co., Ltd. (anteriormente Zigong 764 Factory), Xiamen Tungsten Industry, Jiangxi Tungsten Group y sus muchas unidades subordinadas y otras empresas líderes en la industria. La asociación ha jugado un papel importante en la promoción del desarrollo verde y la internacionalización de la industria del tungsteno, por ejemplo, organizando la formulación de una serie de estándares de la industria, apoyando la investigación y el desarrollo de la tecnología de recuperación de recursos de tungsteno y luchando por el derecho a hablar en nombre de las empresas chinas en el mercado internacional del tungsteno.

Importancia e impacto

La Asociación de la Industria del Tungsteno de China representa un hito importante en el desarrollo de la industria del tungsteno en China. Su creación puso fin a la prolongada falta de coordinación unificada en la industria y proporcionó una plataforma de comunicación y colaboración para las empresas del sector. Gracias a sus esfuerzos, la industria del tungsteno de China ha logrado avances significativos en términos de nivel técnico, competitividad en el mercado y eficiencia en el uso de recursos. Al mismo tiempo, la asociación ha fortalecido sus vínculos con la industria internacional del tungsteno, ha aumentado la influencia global de la industria china del tungsteno y ha sentado las bases para el desarrollo sostenible de la industria.

1985: Se fundó Xiamen Tungsten Industry Co., Ltd.

Xiamen Tungsten Industry se fundó en Xiamen, Fujian, en 1985. Gracias a los recursos de mineral de tungsteno de Fujian, comenzó a producir carburo cementado. Fujian es una provincia con abundantes recursos de tungsteno en China. La creación de Xiamen Tungsten Industry expandió aún más la distribución regional de la industria del carburo cementado e impulsó el desarrollo industrial de las zonas costeras del sureste.

1987: Exportación de herramientas de corte revestidas

En 1987, la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou lanzó herramientas de corte recubiertas, lo que incrementó la tasa de exportación. La exportación de herramientas de corte recubiertas se dirigió principalmente al mercado del Sudeste Asiático, impulsando el desarrollo de la industria manufacturera local y generando divisas para la industria del carburo cementado de China.

90 : Avances tecnológicos y expansión industrial

de 1990 , la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou colaboró con la Universidad Central del Sur para desarrollar carburo cementado de grano ultrafino para su uso en moldes de precisión. La Universidad Central del Sur cuenta con una ventaja competitiva en el campo de la pulvimetalurgia, y esta cooperación impulsó la industrialización de la tecnología de grano ultrafino. En 1994, la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Industria de Tungsteno de Xiamen colaboró con Kyocera de Japón para introducir la tecnología de deposición física de vapor (PVD) para desarrollar herramientas recubiertas, mejorando así la resistencia de los productos a altas temperaturas.

1997: Se fundó Jiangxi Tungsten Group

En 1997, se fundó Jiangxi Tungsten Industry Holding Group (Jiangxi Tungsten Group) para integrar los recursos de mineral de tungsteno de Ganzhou y llevar a cabo la producción de carburo cementado. Ganzhou es la mayor zona productora de mineral de tungsteno de China. La creación de Jiangxi Tungsten Group marca la integración y modernización de la cadena industrial del tungsteno de Jiangxi.

1998: Desarrollo de la tecnología de tungsteno de Xiamen

En 1998, Xiamen Tungsten desarrolló un nuevo tipo de carburo cementado para su uso en ingeniería marina, satisfaciendo la demanda de materiales resistentes a la corrosión en el entorno marino.

1999: Tecnología de reciclaje

En 1999, la fábrica de carburo cementado de Zhuzhou cooperó con Seco Tools de Suecia para llevar a cabo una investigación sobre tecnología de reciclaje, que mejoró la tasa de reciclaje de los recursos de tungsteno.

2000: Parque industrial de carburo cementado de Zhuzhou

En 2000, el Parque Industrial de Carburo Cementado de Zhuzhou comenzó a tomar forma, formándose un clúster industrial con la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou como núcleo, que promovió el desarrollo económico regional.

de 2000-2020 : Globalización y liderazgo tecnológico

2002: Adhesión a la OMC

En 2002, China se unió a la Organización Mundial del Comercio (OMC), y la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou (China Tungsten High- Tech) experimentó un aumento en sus exportaciones. Ese mismo año, China Tungsten High-Tech integró Zhuzhou Diamond Cutting Tool Company para ampliar la capacidad de producción de cuchillas CNC y satisfacer las necesidades de sectores de alta gama como la fabricación de automóviles.

2002: China Minmetals Group y Jiangxi Rare Earth Metals Tungsten Industry Group Corporation comenzaron a cooperar

En 2002, China Minmetals Nonferrous Metals Co., Ltd., una subsidiaria de China Minmetals Grupo, cooperó con Jiangxi Rare Earth Metals Tungsten Industry Group Corporation (el predecesor de Jiangxi Tungsten Industry Holding Group) para establecer Jiangxi Tungsten Industry Group Co., Ltd. Esta empresa conjunta está controlada conjuntamente por ambas partes, con China Minmetals

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nonferrous Metals con el 51% y Jiangxi Rare Earth Metals Tungsten Industry Group Corporation con el 49% (según la información en el sitio web del Gobierno Municipal de Ganzhou). La empresa conjunta tiene su sede en Ganzhou, Jiangxi, y su negocio cubre la minería de tungsteno, el beneficio, la fundición, el procesamiento profundo y el comercio. Integra múltiples recursos de mineral de tungsteno y empresas de procesamiento en la provincia de Jiangxi, formando una cadena industrial relativamente completa. Esta cooperación es un paso importante para que China Minmetals Group ingrese a la industria del tungsteno de Jiangxi, que está en línea con la orientación política del país en ese momento para promover la cooperación central-local.

2005: Xiamen Tungsten Industry logró un avance tecnológico

En 2005, Xiamen Tungsten Co., Ltd. desarrolló herramientas de corte de grano ultrafino para su uso en el campo fotovoltaico, apoyando el rápido desarrollo de la industria fotovoltaica.

2008: Exportaciones durante la crisis financiera

En 2008, en el contexto de la crisis financiera mundial, las exportaciones de carburo cementado de China continuaron creciendo, lo que refleja la competitividad internacional de la industria.

2010-2015: Tecnología y reciclaje

En 2010, China Tungsten High-Tech cooperó con la Universidad de Ciencia y Tecnología de Pekín para desarrollar carburo cementado de grado nanométrico para mecanizado de precisión. Xiamen Tungsten lanzó herramientas con recubrimiento de PVD, lo que incrementó la tasa de exportación. En 2012, Jiangxi Tungsten Group desarrolló un nuevo tipo de carburo cementado para su uso en el sector aeronáutico. En 2013, Jiangxi Tungsten Group promovió el método de biolixiviación para mejorar la eficiencia del reciclaje. En 2015, Ganzhou construyó una base de economía circular de tungsteno para promover el reciclaje de recursos.

Clústeres regionales

En 2010, el Parque Industrial de Carburo Cementado de Zhuzhou experimentó un rápido desarrollo. En 2015, Ganzhou construyó una línea de producción de herramientas de alta gama con la ayuda de Jiangxi Tungsten Group. En 2016, Xiamen Tungsten Industry estableció una base de reciclaje de recursos secundarios en Corea del Sur, con una producción anual de 1500 toneladas de óxido de tungsteno. En 2018, Xiamen se convirtió en un centro de exportación de herramientas.

De la década de 2020 al presente: Inteligencia verde y liderazgo global

2020-2024: Desarrollo verde e inteligente

En 2020, el "XIV Plan Quinquenal" apoyará el desarrollo de la industria del carburo cementado. En 2021, China Tungsten High-Tech desarrolló tecnología de fabricación aditiva. En 2022, se iniciará el Proyecto de procesamiento profundo de la cadena industrial de tungsteno de Jiujiang de la industria de tungsteno de Xiamen. En 2023, Xiamen Tungsten Co., Ltd. introdujo inteligencia artificial para optimizar la producción y

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

China Tungsten High-tech desarrolló carburo cementado de alta entropía.

En 2024, Jiangxi Tungsten Group lanzó el proyecto de carburo cementado de Ganzhou, cuya puesta en producción está prevista para 2025. Xiamen Tungsten Industry estableció una base de producción de aleaciones en Tailandia, y se puso en producción la línea de producción inteligente de carburo de tungsteno ultrafino de Zhuhai Tungsten Group.

Integración de recursos

Desde 2020, Jiangxi Copper Group ha participado en el desarrollo de la mina de tungsteno Bakuta en Kazajistán a través de sus empresas afiliadas, y el proyecto ha logrado un progreso significativo en 2024. La mina de tungsteno Bakuta está ubicada en el distrito de Yanbekshkakh de la región de Almaty en Kazajistán, a unos 150 kilómetros de la ciudad de Almaty, cerca del puerto de Horgos en China, y cuenta con un transporte conveniente. El área minera cubre un área de 1,16 kilómetros cuadrados, con una profundidad máxima de minería de 300 metros. El período del derecho minero es del 2 de junio de 2015 al 2 de junio de 2040. Al 30 de junio de 2024, las reservas de mineral son de 70,8 millones de toneladas, con una ley promedio de 0,205% WO_3 , equivalente a 145.400 toneladas de WO_3 ; Los recursos totales son de 110,4 millones de toneladas, incluyendo alrededor de 233.200 toneladas de WO_3 . La inversión total del proyecto es de aproximadamente US\$270 millones (aproximadamente RMB 1.8922 mil millones). La capacidad de procesamiento de la primera fase es de 10.000 toneladas/día, que se actualizará a 15.000 toneladas/día en la etapa posterior. Se espera que entre en producción en el primer trimestre de 2025, con una producción anual de alrededor de 15.000 toneladas de concentrado de WO_3 al 65%, lo que representa alrededor del 10% de la producción mundial. El proyecto es desarrollado conjuntamente por Jiangxi Copper Group, Hengzhao International, China Railway Construction Group y China Civil Engineering Group. En la estructura de capital, Hengzhao posee el 43,35%, Jiangxi Copper Hong Kong posee el 41,65% y China Railway Construction Group posee el 15%. Se espera que cree alrededor de 1.000 puestos de trabajo y el monto del contrato es de 1.328 millones de RMB.

En 2024, China Tungsten High-Tech adquirirá la mina de tungsteno Shizhuyuan de Hunan, con una reserva de 560.000 toneladas. Jiangxi Tungsten Group tendrá una participación mayoritaria en Anyuan Coal Industry, y Xiamen Tungsten cooperará con la japonesa Mitsubishi Materials.

Colaboración regional

En 2020, el Parque Industrial de Carburo Cementado de Zhuzhou continuó desarrollándose.

En 2024, la cadena industrial de tungsteno de Ganzhou se integrará y las exportaciones de herramientas de Xiamen seguirán creciendo.

1.3 Comparación entre el carburo cementado y los materiales tradicionales

El carburo cementado es significativamente superior a los materiales tradicionales en términos de dureza, resistencia al desgaste, tenacidad y adaptabilidad ambiental, y ha generado una ventaja competitiva frente a nuevos materiales en campos específicos. Esta sección compara el carburo cementado con el acero de alta resistencia, la cerámica, el nitruro de boro cúbico (CBN) y el

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

diamante policristalino (PCD) mediante parámetros cuantitativos de rendimiento, escenarios de aplicación y análisis del ciclo de vida para ilustrar sus ventajas únicas.

1.3.1 Diferencias de rendimiento con acero de alta resistencia y cerámica

El acero de alta resistencia (como el AISI 4340) tiene una resistencia a la tracción de aproximadamente 1100-1300 MPa (informe ITIA 2024), una dureza de HV 400-500, una tasa de desgaste de aproximadamente $0,5 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, un coeficiente de expansión térmica de $12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, y es relativamente económico y adecuado para la fabricación de piezas estructurales. Sin embargo, su rendimiento disminuye a altas temperaturas, y su dureza desciende a HV 200-250 a 600°C (Journal of Materials Science 2025). El carburo cementado (como WC-6%Co) tiene una dureza de HV 1800-2200, una tasa de desgaste de $0,06\text{-}0,08 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, un coeficiente de expansión térmica de $4,5\text{-}5,5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, una resistencia a la compresión de 3500-4000 MPa y mantiene HV 900-1000 a 1000°C (Journal of the Chinese Society of Nonferrous Metals 2024). Por ejemplo, el informe anual de 2024 de China Tungsten High-Tech muestra que la vida útil de sus brocas de minería WC-6%Co en la perforación de granito es de 1800-2000 metros, mientras que la vida útil de las brocas de acero de alta resistencia AISI 4340 es de aproximadamente 300-400 metros, y la vida útil del carburo cementado aumenta aproximadamente de 4 a 5 veces. El bajo coeficiente de expansión térmica del carburo cementado reduce la deformación durante el procesamiento y es adecuado para moldes de precisión (tolerancia $<0,01 \text{ mm}$).

Las cerámicas (como la alúmina Al_2O_3) tienen una dureza de HV 1800-2000, una resistencia a la temperatura de 1200°C y una conductividad térmica de $25\text{-}30 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$, lo que las hace aptas para el corte a alta temperatura, pero tienen una tenacidad a la fractura de $3\text{-}5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, baja resistencia al impacto y son propensas al astillamiento (ITIA 2024). El carburo cementado tiene una tenacidad de $8\text{-}15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, una conductividad térmica de $80\text{-}100 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$ y es más resistente al choque térmico. Por ejemplo, el informe anual 2024 de Xiamen Tungsten muestra que sus herramientas WC-Co revestidas con PVD TiAlN tienen una tasa antiastillamiento de aproximadamente un 50%-60% mayor que las herramientas sin revestimiento en el fresado de alta velocidad ($200 \text{ m}/\text{min}$).

1.3.2 Comparación con nuevos materiales

El nitruro de boro cúbico (CBN) tiene una dureza de HV 4000-5000 y una conductividad térmica de $150\text{-}200 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$. Es adecuado para cortar aleaciones de alta temperatura (como Inconel 718) con una velocidad de corte de $250\text{-}300 \text{ m}/\text{min}$, pero tiene una tenacidad a la fractura de $4\text{-}6 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ y una resistencia al impacto débil (ITIA 2024). El diamante policristalino (PCD) tiene una dureza de HV 7000-8000 y una tasa de desgaste de $0,01\text{-}0,02 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$. Es adecuado para procesar metales no ferrosos (como aleaciones de aluminio), pero tiene poca resistencia a la temperatura. La dureza cae alrededor de un 40%-50% a $>700^\circ\text{C}$ (Journal of Materials Science 2025). El carburo cementado tiene un recubrimiento PVD TiAlN (dureza HV 2500-3000) que se acerca al rendimiento del CBN y una resistencia a la compresión de 3500-4000 MPa que es mejor que la del PCD (aproximadamente 3000 MPa), lo que lo hace adecuado para perforaciones en aguas profundas (presión $> 100 \text{ MPa}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

En términos de escenarios de aplicación, el CBN y el PCD presentan ventajas en el mecanizado de ultraprecisión (como lentes ópticas, rugosidad superficial $<0,01 \mu\text{m}$), pero el carburo cementado ofrece una mayor versatilidad. Por ejemplo, el informe anual de 2024 de Jiangxi Tungsten muestra que sus boquillas de carburo cementado TaC-WC-Co pueden soportar temperaturas de 1200°C en turbinas de gas de aviación y tienen una vida útil de aproximadamente 4000 a 5000 horas, mientras que la vida útil de las boquillas de PCD es de aproximadamente 1500 a 2000 horas. La tecnología de recubrimiento PVD de carburo cementado reduce el desgaste químico y mejora la eficiencia de corte del acero entre un 20 % y un 30 % en comparación con los materiales sin recubrimiento (Journal of the Chinese Society of Nonferrous Metals 2024).

1.3.3 Ventajas en entornos extremos

El carburo cementado se desempeña bien en ambientes extremos como alta temperatura, alta presión y corrosión. A 1000°C , el carburo cementado WC-6%Co mantiene HV 900-1000, mientras que el acero de alta resistencia (AISI 4340) cae a HV 200-250. Aunque las cerámicas son resistentes a altas temperaturas, tienen baja tenacidad a la fractura ($3\text{-}5 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) y son propensas al agrietamiento. El carburo cementado que contiene fase de enlace de Ni (como Co-Ni-Cr) tiene una tasa de corrosión de $<0.1 \text{ mm/año}$ en ambiente de niebla salina, y la vida útil de la ingeniería marina (como Xiamen Tungsten Industry Valves) es de >5 años, mientras que el acero de alta resistencia AISI 4340 es de aproximadamente 1-2 años (Informe Anual de Xiamen Tungsten Industry 2024). En perforaciones en aguas profundas (5000 metros de profundidad, presión de aproximadamente 50 MPa), la vida útil de las brocas de carburo cementado es de 800 a 1000 horas, y la del acero de alta resistencia es de aproximadamente 150 a 200 horas (ITIA 2024).

El carburo cementado presenta importantes ventajas ecológicas. En 2024, la tasa global de reciclaje de carburo cementado se situó entre el 25 % y el 30 %, mientras que en China se alcanzó el 35 % y el 40 % (ITIA 2024), y China Tungsten High-Tech reciclará entre 2000 y 2200 toneladas (Informe Anual de China Tungsten High-Tech 2024). La tasa de reciclaje del acero de alta resistencia se sitúa entre el 85 % y el 90 %, pero el consumo energético es elevado, la tasa de reciclaje de cerámica es inferior al 10 % y el reciclaje de CBN y PCD es complejo. El ciclo de vida del carburo cementado cumple el objetivo de "carbono dual" (Journal of the Chinese Society of Nonferrous Metals 2024). En 2025, China Tungsten High-Tech optimizará el diseño de herramientas de WC-Co mediante la fabricación aditiva para mejorar su durabilidad (Informe Anual de China Tungsten High-Tech 2024).

1.4 Comparación entre el carburo cementado y el acero de tungsteno

Diferencias entre el carburo cementado (material compuesto WC-Co) y el acero de tungsteno (acero rápido o acero para herramientas con tungsteno) en cuanto a composición, microestructura, parámetros de rendimiento y proceso de fabricación. Esta sección compara detalladamente las características de ambos aceros mediante datos cuantitativos y análisis científicos, destacando las ventajas del carburo cementado en dureza, resistencia al desgaste y estabilidad a altas temperaturas, así como las del acero de tungsteno en tenacidad y flexibilidad de procesamiento, centrándose en los materiales y el rendimiento, sin considerar los aspectos económicos ni de aplicación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1.4.1 Composición y microestructura del material

El carburo cementado tiene carburo de tungsteno (WC, fracción de masa 70%-94%) como fase dura y cobalto (Co, 6%-20%) o níquel (Ni) como fase de enlace. El WC es hexagonal (grupo espacial $P6m2$, $a=2,906 \text{ \AA}$, $c=2,837 \text{ \AA}$), con una dureza de HV 2200-2500, el Co es una estructura cúbica centrada en las caras (FCC) y el ángulo de contacto es de aproximadamente 5° - 10° (Journal of the Chinese Society of Nonferrous Metals 2024). La microestructura está compuesta de partículas de WC (granos de 0,2-5 micras) incrustadas en la matriz de Co, con una densidad de $>98\%$ - 99% . La microscopía electrónica de barrido (MEB) y la microscopía electrónica de transmisión (MET) muestran que la resistencia de la interfaz WC-Co es >40 - 50 MPa y la segregación de Co es $<5\%$ (Journal of Materials Science 2025). La adición de TiC o TaC (3%-10%) mejora la resistencia a la oxidación, y el aumento de peso tras la oxidación a 1200°C es inferior a $0,1 \text{ mg/cm}^2$ (Informe Anual de China Tungsten High-Tech 2024). La difracción de rayos X (DRX) confirma que la orientación del plano cristalino de WC (001) está optimizada, y la energía del límite de grano es de aproximadamente $0,8$ - 1 J/m^2 .

El acero de tungsteno es un acero de aleación que contiene tungsteno (W, 5%-18%), como el acero de alta velocidad HSS M2 (que contiene 6% W, 5% Mo, 4% Cr) o el acero para herramientas. La matriz es una aleación de hierro (Fe)-carbono (C, 0,8%-1,2%) con una estructura cúbica centrada en el cuerpo (BCC) o martensítica. El tungsteno existe en estado de solución sólida o carburo ($\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$), con un tamaño de grano de 10-30 micras. El análisis SEM muestra que la distribución del carburo es desigual, la tasa de segregación es del 5%-15% y la resistencia de la interfaz es de aproximadamente 20-30 MPa (Journal of Materials Science 2025). La fuerza del enlace covalente del acero de tungsteno es de aproximadamente 400-450 kJ/mol, que es menor que la del WC (600-700 kJ/mol), y la dureza es HV 600-800.

La estructura compuesta del carburo cementado proporciona un bajo coeficiente de expansión térmica ($4,5$ - $5,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), superior al del acero de tungsteno (11 - $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), lo que reduce la deformación a alta temperatura. El acero de tungsteno presenta una mayor tenacidad ($K_{IC} 20$ - $25 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) que el carburo cementado (8 - $15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).

1.4.2 Comparación de parámetros de rendimiento

El carburo cementado (WC-6%Co) presenta una dureza de HV de 1800-2200, una tasa de desgaste de $0,06$ - $0,08 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$, una resistencia a la compresión de 3500-4000 MPa, una conductividad térmica de 80-100 W/m·K y un coeficiente de expansión térmica de $4,5$ - $5,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. A 1000°C , la pérdida de peso por pulverización salina del carburo cementado que contiene la fase de enlace Co-Ni-Cr es $<0,1 \text{ mg/cm}^2$, manteniendo un HV de 900-1000 (Journal of the Chinese Society of Nonferrous Metals, 2024). El acero de tungsteno tiene una dureza de HV 600-800, una tasa de desgaste de $0,4$ - $0,5 \text{ mm}^3 / \text{N}\cdot\text{m}$, una resistencia a la compresión de 1500-2000 MPa, una conductividad térmica de 20-30 W/m·K, un coeficiente de expansión térmica de 11 - $12 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$, una caída de dureza a HV 350-400 a 600°C y una tasa de corrosión de aproximadamente $0,5$ - 1 mg/cm^2 .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

La resistencia al desgaste del carburo cementado es aproximadamente 6-8 veces mayor que la del acero de tungsteno, y su resistencia a la compresión es 1,8-2 veces mayor, lo que lo hace adecuado para entornos de alta presión (>100 MPa). En términos de rendimiento térmico, la ganancia de peso del carburo cementado después de la oxidación a 1200°C es $<0,1$ mg/cm², y no tiene grietas después de >100 ciclos de choque térmico; la ganancia de peso del acero de tungsteno después de la oxidación a 800°C es aproximadamente $0,8-1$ mg/cm², y aparecen microgrietas después de 50-60 ciclos de choque térmico. La resistencia a la fatiga cíclica del carburo cementado ($>1800-2000$ MPa, 10^7 veces) es mejor que la del acero de tungsteno ($900-1000$ MPa, 10^7 veces) (Informe anual de China Tungsten High-Tech 2024).

1.4.3 Características del proceso de fabricación

El carburo cementado adopta un proceso de pulvimetalurgia: polvo de WC y Co (tamaño de partícula $0,5-5$ micras), molienda de bolas (24-48 horas), prensado ($50-100$ MPa), sinterización en fase líquida ($1320-1400^{\circ}\text{C}$, grado de vacío 10^{-3} Pa), densidad $>98\%$. El prensado isostático en caliente (HIP, $120-150$ MPa, $1350-1400^{\circ}\text{C}$) elimina los poros y aumenta la dureza en un $5\%-10\%$ (Informe Anual de China Tungsten High-tech 2024). El proceso necesita controlar la temperatura ($\pm 5^{\circ}\text{C}$) y el contenido de Co ($\pm 0,5\%$) para lograr granos submicrónicos ($0,2-1$ micra).

El acero de tungsteno se produce mediante fundición en horno de arco ($1600-1800^{\circ}\text{C}$), colada de lingotes, laminado/forjado en caliente ($1100-1200^{\circ}\text{C}$) y tratamiento térmico (temple a 850°C , revenido a $500-600^{\circ}\text{C}$). Los carburos se distribuyen de forma irregular y el tamaño de grano es de $10-30$ micras. El tratamiento térmico optimiza la dureza y la tenacidad, pero la segregación de carburos ($5-15\%$) afecta la consistencia (Journal of Materials Science 2025).

1.4.4 Adaptabilidad ambiental y características de reciclaje

La tasa de corrosión del carburo cementado que contiene la fase de enlace de Ni (como Co-Ni-Cr) en un entorno de niebla salina es $<0,1$ mm/año y tiene una fuerte resistencia a la oxidación a 1200°C . La tasa de corrosión del acero de tungsteno es de aproximadamente $0,5-1$ mm/año y la oxidación es obvia por encima de los 800°C . La conductividad térmica ($80-100$ W/ m·K) y el bajo coeficiente de expansión térmica ($4,5-5,5 \times 10^{-6}$ / $^{\circ}\text{C}$) del carburo cementado garantizan la resistencia al choque térmico y son adecuados para entornos de alta temperatura y alta presión ($>1000^{\circ}\text{C}$, >100 MPa). La conductividad térmica ($20-30$ W/ m·K) y el alto coeficiente de expansión térmica ($11-12 \times 10^{-6}$ / $^{\circ}\text{C}$) del acero de tungsteno provocan deformación térmica.

En términos de reciclaje, la tasa de recuperación de carburo cementado mediante el método de fundición de zinc alcanza el $90\%-95\%$, y en China se prevé que sea del $35\%-40\%$ en 2024 (ITIA 2024). La tasa de recuperación del acero de tungsteno es de aproximadamente el $85\%-90\%$, pero la pérdida de tungsteno es del $5\%-10\%$ durante la fundición y la refundición. El reciclaje de carburo cementado es más eficiente y cumple con el objetivo de bajas emisiones de carbono (Informe Anual

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

de China Tungsten High-tech 2024).

1.4.5 Comparación integral del rendimiento

El carburo cementado supera al acero de tungsteno en dureza, resistencia al desgaste, estabilidad a altas temperaturas, resistencia a la corrosión y resistencia a la compresión. El recubrimiento PVD TiAlN (HV 2500-3000) mejora el rendimiento y es adecuado para condiciones de trabajo extremas. El acero de tungsteno presenta una gran tenacidad (K_{Ic} 20-25 MPa·m^{1/2}) y flexibilidad de procesamiento, lo que lo hace adecuado para el procesamiento con cargas bajas. Sin embargo, su dureza (HV 600-800) y resistencia al desgaste son insuficientes. En 2025, el nano WC-Co de China Tungsten High-Tech (tamaño de grano de 0,05-0,1 micras) optimiza aún más el rendimiento (Informe Anual de China Tungsten High-Tech 2024).

Referencias

- Informe anual 2024 de China Tungsten & High-Tech Materials Co., Ltd.
- Informe anual 2024 de Xiamen Tungsten Co., Ltd.
- Tendencias del mercado del tungsteno en 2024. www.ctia.com.cn
- CTIA GROUP LTD. Perfil de la empresa y lanzamiento de productos en 2024. ctia.group
- de la Industria del Tungsteno de China . Informe de la Conferencia de Desarrollo de la Industria del Tungsteno de China de 2024. www.ctia.net.cn
- Comisión Nacional de Desarrollo y Reforma. 2021. Esquema del XIV Plan Quinquenal. www.ndrc.gov.cn
- Administración de Archivos Estatales. 1958. Archivos de la construcción de la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou. Pekín: Administración de Archivos Estatales.
- Revista China de Metales No Ferrosos. 1965-2024. Varios números. www.cnki.net
- Materiales e Ingeniería de Metales Raros. 2023-2024. Varios números. www.cnki.net
- USGS. 2025. Resúmenes de productos minerales:
Tungsteno. www.usgs.gov
- ITIA. 2024. Informe sobre reciclaje de tungsteno. www.itia.infoAsociación Internacional
de Tungsteno . 2024. Informe sobre reciclaje de tungsteno.
- Revista de Ciencia de Materiales. 2024-2025. www.springer.comRevista
de Ciencia de Materiales. 2024-2025.
- Revista de aleaciones y compuestos. 2025. www.elsevier.comRevista
de aleaciones y compuestos. 2025.
- Actas de la Royal Society. 1868.
Londres: Royal Society.
- Annalen der Chemie . 1875. Leipzig: Wiley-VCH.
- Annalen der Chemie . 1875. Leipzig: Wiley-VCH.
- Conviértase en ciudadano alemán Chemischen Gesellschaft. 1900. Berlín: Wiley-VCH.
- Informes de la Sociedad Química Alemana. 1900. Berlín: Wiley-VCH.
- Informe técnico de Osram. 1908.
Berlín: Osram GmbH.
- Archivos Krupp. 1912-1943. Essen: ThyssenKrupp AG.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Archivos Krupp. 1912-1943. Essen: ThyssenKrupp AG.
Boletín técnico de Krupp. 1925. Essen: Krupp AG.
Informe técnico de Farben. 1931. Fráncfort: IG Farben.
Informe técnico de Farben. 1931. Fráncfort: IG Farben.
Sandvik Coromant Historia . 1932-2003. Sandviken : Sandvik AB.
Patente de EE. UU. 1896-1936.
Washington, DC: USPTO.
Informe técnico de Kennametal. 1953. Latrobe: Kennametal Inc.
Informe técnico de Kennametal. 1953. Latrobe: Kennametal Inc.
Patente de Seco Tools. 1965. Fagersta : Seco Tools AB.
Informe de materiales de Mitsubishi. 1975.
Tokio: Mitsubishi Materials Corp.
de Plansee . 1983. Reutte: Grupo Plansee . Boletín Técnico
de Plansee . 1983. Reutte: Grupo Plansee .
Informe de sostenibilidad de Sandvik, 1990. Sandviken : Sandvik AB.
de Investigación de Materiales Biomédicos. 1985. Hoboken: Wiley.
Revista de fabricación aditiva. 2012.
Ámsterdam: Elsevier.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Un apéndice:

El método de traducción al inglés del carburo cementado y su aplicación

Como material compuesto formado por una fase dura (como el carburo de tungsteno) y una fase aglutinante (como el cobalto), el carburo cementado tiene diversas traducciones o nombres en inglés, según el contexto, los estándares de la industria o los hábitos técnicos. A continuación, se presenta un resumen detallado de los nombres en inglés del carburo cementado y sus traducciones, que abarca términos comunes, escenarios de aplicación y diferencias sutiles.

Cómo traducir el nombre en inglés del carburo cementado

1. El nombre en inglés del carburo cementado: Hardmetal

Definición: El nombre inglés más común, ampliamente utilizado en normas internacionales (como ISO 513 y ASTM B886) y en la literatura académica, se refiere a materiales compuestos de carburos duros (como WC y TiC) y aglutinantes metálicos (como cobalto y níquel). Escenarios de uso:

Normas industriales: ISO 3326 (Metales duros : determinación de la saturación magnética del cobalto), GB/T 3849.

Investigación académica: Los artículos de ScienceDirect a menudo hacen referencia a “ metales duros ” utilizados para herramientas de corte y moldes.

Características: Énfasis en las propiedades compuestas de los materiales (fase dura + fase de unión del metal), fuerte versatilidad, adecuado para la industria global del carburo cementado.

Ejemplo: Los metales duros se utilizan ampliamente en herramientas de corte debido a su alta dureza y resistencia al desgaste.

2. Carburo cementado

Definición: Una traducción común que resalta las características de los carburos duros (como el WC) que están "cementados" por aglutinantes metálicos (como el cobalto), comúnmente utilizados en la literatura técnica de América del Norte y Europa.

Norma ASTM: ASTM B886 (Método de prueba estándar para la determinación de la saturación magnética de carburos cementados).

Término industrial: comúnmente utilizado por los fabricantes de herramientas de América del Norte (como Kennametal y Sandvik).

Características: Énfasis en el proceso de “cementación”, es decir, el aglutinante metálico combina las partículas de carburo durante el proceso de sinterización.

como Hardmetal , pero se ve más comúnmente en los estándares estadounidenses y en la publicidad corporativa.

Ejemplo: Los carburos cementados se prefieren para el mecanizado debido a su tenacidad y durabilidad.

3. Carburo de tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Definición: Se refiere específicamente al carburo cementado con carburo de tungsteno (WC) como fase dura principal. Se utiliza a menudo para descripciones no técnicas o simplificadas, pero en sentido estricto no es exhaustiva (no abarca otros carburos ni aglutinantes). Escenarios de uso:

Negocios y mercado: se ve comúnmente en promociones de cuchillos, brocas y joyas (anillos de acero de tungsteno).

Artículo de divulgación científica: Wikipedia a menudo presenta el carburo cementado como "carburo de tungsteno".

Características: Solo se refiere al carburo cementado a base de WC y no cubre aleaciones que contienen otros carburos como TiC y TaC .

Se utiliza como sinónimo de carburo cementado en ocasiones no profesionales (como el mercado de consumo).

Limitaciones: No es muy preciso, ya que el carburo cementado puede contener carburos no basados en tungsteno (como TiC) o varios aglutinantes.

Ejemplo: Las herramientas de carburo de tungsteno son conocidas por su extrema dureza.

4. Carburo

Definición: Nombre simplificado que se refiere al carburo cementado en general, omitiendo "cementado" o "tungsteno", términos comunes en la industria o en el lenguaje hablado. Escenarios de uso:

Industria de herramientas: Los trabajadores o ingenieros a menudo se refieren a ellas como "herramientas de carburo" o "insertos de carburo".

Documentación técnica: Por ejemplo, en el folleto de productos Sandvik se mencionan "calidades de carburo".

Características: Conciso, pero puede causar ambigüedad porque "carburo" también se refiere a otros carburos (como el carburo de calcio CaC_2) .

para referirse claramente al carburo cementado en el contexto.

Ejemplo: Los insertos de carburo mejoran la eficiencia del mecanizado en el procesamiento del acero.

5. Widiometal (menos común)

Definición: Término utilizado en los primeros tiempos de Europa (especialmente en Alemania), derivado de "Widia" (Wie Diamant, que significa "como el diamante"), que es el nombre comercial del carburo cementado.

Documentos históricos: Krupp de Alemania comercializó por primera vez el carburo cementado en la década de 1920 y lo llamó Widia.

Partes de Europa: Todavía se ve ocasionalmente en antiguos documentos técnicos o empresas tradicionales.

Características: Destaca la alta dureza del carburo cementado (cercana al diamante), pero ahora se usa menos y se reemplaza por metal duro o carburo cementado.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sólo en ciertos contextos históricos o de marca.

Ejemplo: Widiometal supuso un gran avance en la tecnología de herramientas de corte tempranas.

6. Carburo sinterizado (menos común)

Definición: Se destaca que el carburo cementado se fabrica mediante un proceso de sinterización pulvimetalúrgica, destacando el proceso de fabricación. Escenarios de aplicación:

Investigación académica: Se utiliza para describir el proceso de producción de carburo cementado.

Manual técnico: según se describe en las instrucciones del proceso de sinterización.

Características: Similar al carburo cementado, pero más centrado en el proceso de sinterización.

Se utiliza con menos frecuencia que el metal duro y el carburo cementado.

Ejemplo: Los componentes de carburo sinterizado exhiben una excelente resistencia al desgaste.

7. Otras traducciones no estándar

Acero de tungsteno

Traducción incorrecta, frecuente en ocasiones no profesionales (como plataformas de comercio electrónico). El carburo cementado no es acero, sino un material compuesto de carburo metálico.

Ejemplo: La industria joyera los llama erróneamente “anillos de acero de tungsteno”, que en realidad son carburo cementado a base de tungsteno .

Aleación dura

Traducido directamente del chino "aleación dura", rara vez se usa en inglés y puede aparecer en la literatura inglesa china, pero no es estándar.

Ejemplo: Aleación dura no es un término estándar en la literatura técnica inglesa.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Comparación y sugerencias de selección de métodos de traducción al inglés de carburo cementado

nombre en inglés	Escenarios aplicables	ventaja	limitación
Metal duro	Estándares internacionales, investigación académica, industria global	Gran versatilidad, terminología estándar.	No hay limitaciones obvias
carburo cementado	Normas norteamericanas, industria de herramientas de corte, documentación técnica	Énfasis en la tecnología de unión, ampliamente reconocida	Un poco largo
carburo de tungsteno	Promoción comercial, divulgación científica, mercado de consumo	Conciso y fácil de entender para personas no profesionales.	No es lo suficientemente completo, ignora otros carburos y aglutinantes.
Carburo	Coloquialismos de la industria, fabricación de herramientas	Simple y universal en la industria.	Puede causar ambigüedad (confusión con otros carburos).
Widiametal	Documentos históricos, empresas tradicionales europeas	Importancia histórica, específica de la marca.	Obsoleto, rara vez se utiliza hoy en día.
carburo sinterizado	Investigación académica, descripción de procesos	Destacar el proceso de sinterización	Baja frecuencia de uso
Acero de tungsteno	Mercados no especializados (como la joyería)	Ninguno (término incorrecto)	Inexacto y engañoso
Aleación dura	Literatura chinglish	Ninguno (no estándar)	No estandarizado, no reconocido internacionalmente

Sugerencia de selección:

Ocasiones formales (normas, documentos, intercambios internacionales): utilice metal duro o carburo cementado porque cumplen con las normas ISO, ASTM, GB/T y son muy versátiles.

Dentro de la industria (fabricación de cuchillos y moldes): Carbide es conciso y adecuado para el lenguaje coloquial o la denominación de productos, pero asegúrese de que el contexto sea claro.

Propaganda comercial (para consumidores): El carburo de tungsteno es más fácil de entender para los no profesionales, pero debe tenerse en cuenta que es una aleación dura.

Evitar: Acero de tungsteno y aleaciones duras por imprecisiones o incumplimientos.

Datos y soporte

Base estándar: ISO 3326:2013 y ASTM B88624 utilizan "Hardenmetal" y "Carburo cementado" (sitio web oficial de ISO, sitio web oficial de ASTM).

GB/T 38492015 utiliza "aleación dura", que se traduce al inglés como "metal duro" (Red de consulta de normas nacionales de China).

Práctica de la industria: Las empresas de herramientas globales (como Sandvik y Kennametal) a menudo utilizan "carburo cementado" o "carburo" en sus catálogos de productos.

La entrada de Wikipedia para "carburo de tungsteno" indica que es un subconjunto del carburo cementado (Wikipedia, 2005).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Literatura académica: Los artículos de ScienceDirect a menudo utilizan “Hardenmetals” o “Carburos cementados” para describir las aleaciones de WCCo (ScienceDirect, 2020).

Antecedentes históricos: "Widia" se originó en la empresa alemana Krupp en la década de 1920 y rara vez se utiliza en los tiempos modernos.

Los nombres en inglés del carburo cementado incluyen principalmente Hardmetal, Cemented Carbide, Tungsten Carbide y Carbide. Entre ellos, Hardmetal y Cemented Carbide son los términos más comunes, ampliamente utilizados en normas internacionales e intercambios industriales. Tungsten Carbide es adecuado para la promoción comercial, pero no lo suficientemente completo; Carbide es conciso, pero debe tenerse en cuenta la ambigüedad. Widiometal y Sintered Carbide son menos comunes y se limitan a escenarios históricos o de proceso específicos. Se deben evitar los términos Tungsten Steel y Hard Alloy por su inexactitud. Al elegir nombres en inglés, se debe seleccionar el término más apropiado según el contexto (académico, industrial, comercial).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Un apéndice:

Breve introducción a las principales empresas de carburo cementado en mi país en sus inicios y su estado actual

1. Fábrica Zhuzhou 601 (Fábrica de carburo cementado de Zhuzhou)

Origen e historia de la construcción

La Fábrica Zhuzhou 601, conocida como la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou (actualmente Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., afiliada a China Tungsten High-tech), se fundó en 1954 y está ubicada en Zhuzhou, Hunan. Fue el punto de partida de la industria china del carburo cementado. La fábrica fue uno de los 156 proyectos clave del Primer Plan Quinquenal (1953-1957) y es conocida como la cuna de la industria china del carburo cementado. Su fundación se debió a la precaria base industrial de la época de la fundación de la Nueva China, y el carburo cementado, como material estratégico, dependía principalmente de las importaciones. Para cambiar esta situación, el país decidió construir una fábrica en Zhuzhou, Hunan, apoyándose en los ricos recursos locales de mineral de tungsteno (como la mina polimetálica Shizhuyuan) y en las convenientes condiciones de transporte (Zhuzhou está situada en el curso medio del río Xiangjiang y ha desarrollado transporte ferroviario).

Significado y origen del número del nombre

El número "601" tiene su origen en las normas de nomenclatura confidencial de las empresas industriales en los primeros días de la fundación de la Nueva China. En aquel entonces, para garantizar la confidencialidad de la industria de defensa nacional y los proyectos clave, el estado utilizaba números en lugar de nombres directos para muchas fábricas. El "601" pertenece al número

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

de serie bajo la jurisdicción del Ministerio de Industria Metalúrgica (posteriormente fusionado con el Ministerio de Industria de Maquinaria), y representa específicamente a la "Primera Fábrica del Sexto Ministerio de Industria Metalúrgica". El "6" representa la industria metalúrgica y el "01" indica que se trata del primer proyecto clave del sistema, lo que refleja la posición especial de la Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou como el punto de partida de la industria del carburo cementado en China.

Construcción y desarrollo

La Fábrica 601 de Zhuzhou introdujo tecnología soviética en sus inicios, utilizando pulvimetalurgia para producir carburo cementado, compuesto principalmente de carburo de tungsteno-cobalto (WC-Co), utilizado principalmente en minería y herramientas de corte. En 1958, al finalizar el Primer Plan Quinquenal, la Fábrica de Zhuzhou amplió su planta y optimizó el proceso de producción. Las brocas de carburo cementado producidas comenzaron a satisfacer las necesidades de la exploración geológica. En 1960, la fábrica colaboró con el Instituto de Investigación de Metales No Ferrosos de Pekín para desarrollar carburo cementado con carburo de titanio (TiC) para su uso en la perforación petrolera. En la década de 1960, a pesar de la influencia de la Revolución Cultural, la Fábrica de Zhuzhou mantuvo su suministro en el campo del procesamiento mecánico optimizando la fórmula mediante la autosuficiencia. En 1970, el país lanzó el Proyecto 704, lo que permitió a la Fábrica de Zhuzhou expandirse aún más y aumentar su producción. Después de la reforma y apertura en 1978, durante el "Sexto Plan Quinquenal" (1981-1985), la fábrica de Zhuzhou introdujo la tecnología de recubrimiento sueca Sandvik y desarrolló herramientas recubiertas de nitruro de titanio (TiN), que mejoraron significativamente el rendimiento de corte.

Características principales

La fábrica Zhuzhou 601 es la cuna de la industria del carburo cementado en China y sentó las bases de la industria. Sus características son:

Introducción e innovación tecnológica : A partir de la tecnología soviética, más tarde cooperamos con la Universidad de Tsinghua, la Universidad Central del Sur, etc. para desarrollar carburo cementado de grano ultrafino y de grado nanométrico para su aplicación en el mecanizado de precisión.

Efecto del clúster industrial : en 2000, el Parque Industrial de Carburo Cementado de Zhuzhou comenzó a tomar forma, formando un clúster industrial con la Fábrica de Zhuzhou como núcleo, promoviendo el desarrollo económico regional.

Ampliamente utilizado : Sus productos abarcan la minería, el procesamiento mecánico, la defensa nacional, la industria electrónica y otros sectores. Se han exportado al Sudeste Asiático desde la década de 1980 y han aumentado aún más tras su adhesión a la OMC en 2002.

status quo

La Planta de Carburo Cementado de Zhuzhou es actualmente la empresa principal de China Tungsten High-tech Materials Co., Ltd. y una de las mayores plantas de producción de carburo cementado de China. En 2024, China Tungsten High-tech adquirió la Mina de Tungsteno Shizhuyuan de Hunan (con una reserva de 560.000 toneladas), lo que mejoró su autosuficiencia en

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

materias primas. La empresa continúa centrándose en la investigación y el desarrollo de carburo cementado de alta entropía y tecnología de fabricación aditiva. Sus productos se utilizan ampliamente en la industria aeroespacial, la fabricación de automóviles y otros sectores, a la vez que promueve activamente la fabricación ecológica y la producción inteligente.

2. Fábrica Zigong 764 (Fábrica de carburo cementado Zigong)

Origen e historia de la construcción

La fábrica Zigong 764, conocida como la fábrica de carburo cementado Zigong (actualmente Zigong Cemented Carbide Co., Ltd.), se fundó en 1965 y está ubicada en la ciudad de Zigong, provincia de Sichuan. Zigong, reconocida ciudad de la sal en China, cuenta con una larga trayectoria industrial, especialmente en la tecnología de perforación de pozos de sal, que sentó las bases para el desarrollo de su industria de carburo cementado. La fundación de la fábrica Zigong 764 coincidió con el período de la "Construcción de Tercera Línea" del país, con el objetivo de establecer una base industrial estratégica en la retaguardia del suroeste para hacer frente a las posibles amenazas durante la Guerra Fría.

Significado y origen del número del nombre

El número "764" es un método de denominación confidencial típico durante el período de la "Construcción de Tercera Línea". El "7" suele representar empresas bajo la jurisdicción del Ministerio de Industria de Maquinaria, el "6" puede representar el código regional de la región suroeste y el "4" es el número de serie de la fábrica en la región. Este método de numeración pretende ocultar el verdadero propósito y la ubicación geográfica de la fábrica para garantizar la seguridad en tiempos de guerra. El número 764 de la Fábrica Zigong refleja su estatus como una importante base de producción de carburo cementado establecida por el Ministerio de Industria de Maquinaria en la región suroeste.

Relación con la fábrica Zhuzhou 601

La fábrica Zigong 764 mantiene vínculos indirectos con la fábrica Zhuzhou 601 en la tecnología de producción de carburo cementado. Como pionera en el sector, la fábrica Zhuzhou 601 exportó estándares de proceso y experiencia de producción a empresas de tercera línea, incluyendo la fábrica Zigong 764, mediante proyectos nacionales de difusión tecnológica en la década de 1960. El proceso de pulvimetalurgia adoptado por la fábrica Zigong 764 en sus inicios se ajusta al sistema técnico de la fábrica Zhuzhou 601. Además, ambas fábricas se complementan en la asignación nacional de recursos de tungsteno y la colaboración industrial. La innovación tecnológica de la fábrica Zhuzhou 601 sienta las bases para el desarrollo de la fábrica Zigong 764, a la vez que esta complementa la distribución industrial de la fábrica Zhuzhou 601 en la región suroeste gracias a las ventajas de los recursos regionales.

Construcción y desarrollo

En sus inicios, la fábrica Zigong 764 producía principalmente herramientas de carburo cementado para minería y exploración geológica, aprovechando los abundantes recursos de gas natural de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zigong (utilizado como combustible de sinterización) y los recursos de tungsteno de Sichuan. En la década de 1970, ante el aumento de la demanda nacional de carburo cementado, la fábrica Zigong amplió gradualmente su línea de productos para incluir herramientas de corte y piezas resistentes al desgaste. En la década de 1980, tras la reforma y la apertura, la fábrica Zigong comenzó a cooperar con empresas extranjeras, introdujo equipos y tecnología avanzados y mejoró la calidad de sus productos.

Características principales

La fábrica Zigong 764 es reconocida por sus productos de carburo cementado en el campo de la minería y la exploración geológica, con las siguientes características:

Ventajas de los recursos : Los recursos de gas natural en el área de Zigong proporcionan energía barata para la sinterización de carburo cementado, lo que reduce los costos de producción.

Influencia regional : Como una importante base de producción de carburo cementado en la región suroeste, los productos de la fábrica Zigong se utilizan ampliamente en el desarrollo minero en Sichuan, Yunnan y otros lugares.

Progreso tecnológico : En la década de 1990, la planta de Zigong desarrolló barras y placas de carburo de alto rendimiento para satisfacer las necesidades de herramientas de corte no estándar.

status quo

Zigong Cemented Carbide Co., Ltd. se ha convertido en una de las empresas más importantes de la industria del carburo cementado en China y está afiliada a China Minmetals Corporation. La empresa se centra en la producción de barras, placas y herramientas de corte de carburo cementado, y sus productos se utilizan en la minería, la perforación petrolera y el procesamiento mecánico. La ciudad de Zigong también se ha convertido en una de las principales bases de la industria del carburo cementado en China, continuando su tradición industrial en la región suroeste.

Análisis de la relación entre la fábrica Zhuzhou 601 y la fábrica Zigong 764

Antecedentes históricos y posicionamiento de la industria

La Fábrica Zhuzhou 601 (Fábrica de Carburo Cementado de Zhuzhou) se fundó en 1954. Es el punto de partida de la industria china del carburo cementado y se la conoce como la cuna de dicha industria. Como proyecto clave del Primer Plan Quinquenal del país, la Fábrica Zhuzhou 601 ocupa una posición de liderazgo en el campo de la tecnología del carburo cementado, domina el proceso de pulvimetalurgia introducido desde la Unión Soviética e innova continuamente mediante la cooperación con instituciones nacionales de investigación científica. La Fábrica Zigong 764 (Fábrica de Carburo Cementado de Zigong) se fundó en 1965, durante la "Construcción de Tercera Línea", y es una importante base de producción de carburo cementado en la región suroeste. Basándose en los recursos de mineral de tungsteno y la energía del gas natural de Sichuan, la Fábrica Zigong 764 se centra en la producción de herramientas de carburo cementado para la minería y la exploración geológica.

Contacto de tecnología y recursos

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Como pionera en la industria, la Fábrica 601 de Zhuzhou ha acumulado una vasta experiencia en tecnología de producción de carburo cementado, estándares de proceso e investigación y desarrollo de equipos. En la década de 1960, con el avance de la "Construcción de Tercera Línea", el estado incentivó a empresas clave a exportar tecnología al interior del país para apoyar el desarrollo de nuevas fábricas. En sus inicios, la Fábrica 764 de Zigong se benefició enormemente de la difusión tecnológica de la Fábrica 601 de Zhuzhou. Por ejemplo, el proceso de producción de carburo cementado de carburo de tungsteno-cobalto (WC-Co) desarrollado por la Fábrica 601 de Zhuzhou se ha convertido en un estándar de la industria, y la Fábrica 764 de Zigong utiliza un proceso de pulvimetalurgia similar para la producción de herramientas de minería, lo que demuestra la estrecha relación entre ambas fábricas en cuanto a sistemas tecnológicos.

3. Fábrica 603 de Nanchang (Fábrica de carburo cementado de Nanchang)

Origen e historia de la construcción

La Fábrica Nanchang 603, conocida como Fábrica de Carburo Cementado Nanchang (actualmente Nanchang Cemented Carbide Co., Ltd.), se fundó en 1966 y está ubicada en Nanchang, provincia de Jiangxi. Es otra importante base de producción de carburo cementado, establecida durante el período de la "Construcción de Tercera Línea". La provincia de Jiangxi es una de las provincias con mayores recursos de tungsteno de China, con minerales de tungsteno de alta calidad en Ganzhou y otras localidades. La creación de la Fábrica Nanchang 603 busca aprovechar esta ventaja en recursos y proporcionar materiales de carburo cementado para la industria nacional y la construcción de defensa nacional.

Significado y origen del número del nombre

El número "603" también sigue las normas de nomenclatura confidencial durante el período de la "Construcción de la Tercera Línea". El "6" podría ser una continuación de la secuencia de numeración del Ministerio de Industria Metalúrgica (el "6" en la Fábrica 601 de Zhuzhou significa esto), mientras que el "03" indica que se trata del tercer proyecto clave del sistema. La numeración de la Fábrica 603 de Nanchang refleja su importante posición en el sistema de la industria metalúrgica y la disposición estratégica de Jiangxi, una provincia del interior, durante el período de la "Construcción de la Tercera Línea".

Construcción y desarrollo

En sus inicios, la Fábrica 603 de Nanchang producía principalmente herramientas de carburo cementado para minería, como brocas para roca y herramientas para tunelación, para impulsar el desarrollo minero en Jiangxi y sus alrededores. En la década de 1970, la fábrica comenzó a desarrollar herramientas de corte para satisfacer las necesidades de la industria del mecanizado. En la década de 1980, con el avance de la reforma y la apertura, la fábrica de Nanchang introdujo equipos extranjeros y desarrolló productos de carburo cementado de alto rendimiento.

Características principales

La fábrica Nanchang 603 es famosa por sus aplicaciones en minería y mecanizado, y sus

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

características incluyen:

Soporte de recursos : Los recursos de mineral de tungsteno de Jiangxi proporcionan un suministro estable de materias primas para la planta de Nanchang, lo que reduce los costos de producción.

Diversidad de productos : desde herramientas de minería hasta herramientas de corte, la planta de Nanchang ha ampliado gradualmente su línea de productos para satisfacer una variedad de necesidades industriales.

Cooperación técnica : En la década de 1990, la planta de Nanchang cooperó con universidades nacionales para desarrollar carburo cementado resistente a la corrosión para su uso en el campo de los equipos químicos.

status quo

Nanchang Cemented Carbide Co., Ltd. está ahora afiliada a China Minmetals Corporation y es una importante empresa productora de carburo cementado en la provincia de Jiangxi. La empresa continúa centrándose en la producción de herramientas de minería y herramientas de corte, a la vez que desarrolla nuevos materiales de carburo cementado para su uso en las industrias aeroespacial y química. La planta de Nanchang desempeña un papel fundamental en la cadena industrial del tungsteno de Jiangxi.

4. Fábrica Mudanjiang 212 (Fábrica de carburo cementado de Mudanjiang)

Origen e historia de la construcción

La Fábrica 212 de Mudanjiang, o Fábrica de Carburo Cementado de Mudanjiang, se fundó en 1969 y está ubicada en Mudanjiang, provincia de Heilongjiang. Es una de las bases de producción de carburo cementado desplegadas en el noreste durante el período de la "Construcción de la Tercera Línea". El establecimiento de la Fábrica 212 de Mudanjiang busca impulsar la revitalización de la antigua base industrial del noreste, a la vez que suministra materiales de carburo cementado a la industria de defensa. Mudanjiang se encuentra en el noreste, cerca de la frontera chino-soviética (a unos 248 kilómetros de Vladivostok), y su ubicación estratégica la convierte en un punto clave en la "Construcción de la Tercera Línea". A mediados de la década de 1960, ante el deterioro de las relaciones chino-soviéticas y la intensificación de las tensiones de la Guerra Fría, China puso en marcha la "Construcción de la Tercera Línea" para trasladar bases industriales a zonas remotas del interior. Mudanjiang fue seleccionada para construir una planta de carburo cementado debido a su red ferroviaria y sus recursos mineros.

Significado y origen del número del nombre

El número "212" es un método de denominación típico para la región noreste durante el período de la "Construcción de la Tercera Línea". "2" puede representar el código regional de la región noreste, y "12" es el número de serie de la fábrica en la región. Este método de numeración busca ocultar el verdadero propósito de la fábrica y proteger la seguridad de la industria de defensa nacional. El número 212 de la Fábrica de Mudanjiang indica que es una parte importante de la producción de carburo cementado en la región noreste, lo cual concuerda con su misión de apoyar a la industria de defensa nacional.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Construcción y desarrollo

En sus inicios, la Fábrica 212 de Mudanjiang producía principalmente herramientas de carburo cementado para minería y exploración geológica, impulsando el desarrollo minero en Heilongjiang y Jilin. En la década de 1970, la fábrica comenzó a desarrollar piezas militares de carburo cementado, como piezas de desgaste para orugas de tanques y materiales para ojivas, para apoyar la construcción de la defensa nacional. En la década de 1980, con el avance de la reforma y la apertura, la Fábrica de Mudanjiang se incorporó gradualmente al mercado civil, desarrollando herramientas de corte y piezas resistentes al desgaste, y ampliando aún más su línea de productos.

Características principales

La fábrica Mudanjiang 212 es bien conocida por sus aplicaciones en defensa y minería, con características que incluyen:

Contribución a la defensa nacional : En la década de 1970, las piezas de carburo cementado producidas por la fábrica de Mudanjiang se utilizaron ampliamente en productos militares, apoyando la construcción de la defensa nacional.

Ventajas geográficas : Mudanjiang está situada en el noreste, cerca de la frontera rusa, lo que facilita los intercambios técnicos con la Unión Soviética y más tarde con Rusia.

Resistencia al frío del producto : En vista del clima frío del noreste de China, las herramientas de carburo cementado desarrolladas por la fábrica Mudanjiang tienen una fuerte tenacidad a baja temperatura y pueden adaptarse a entornos extremos.

status quo

La Fábrica de Carburo Cementado de Mudanjiang se ha incorporado a China North Industries Group Corporation y se ha convertido en una de sus filiales. La empresa continúa produciendo herramientas de minería y piezas militares de carburo cementado, a la vez que desarrolla nuevos materiales resistentes al desgaste para los sectores energético y de fabricación de maquinaria. La Fábrica de Mudanjiang mantiene cierta influencia en la industria del carburo cementado en el noreste de China.

5. Fábrica de carburo cementado de Beijing

Origen e historia de la construcción

La Fábrica de Carburo Cementado de Pekín se fundó en 1970 en Pekín. Es una empresa productora de carburo cementado creada para satisfacer las necesidades de investigación industrial y científica de la capital. Como centro político y tecnológico de China, Pekín cuenta con numerosos institutos de investigación científica (como el Instituto de Investigación de Metales No Ferrosos de Pekín) e industrias manufactureras de alta gama. El establecimiento de la Fábrica de Carburo Cementado de Pekín tiene como objetivo proporcionar materiales de carburo cementado de alto rendimiento para estos sectores.

Construcción y desarrollo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

En sus inicios, la Fábrica de Carburo Cementado de Pekín producía principalmente herramientas de corte y moldes de precisión, para abastecer a las industrias de procesamiento mecánico y electrónica de Pekín y sus alrededores. En la década de 1970, la fábrica colaboró con el Instituto de Investigación de Metales No Ferrosos de Pekín para desarrollar moldes de carburo cementado de alta precisión para la fabricación de componentes electrónicos. En la década de 1980, tras la reforma y la apertura, la fábrica de Pekín introdujo tecnología extranjera y desarrolló herramientas de carburo cementado recubiertas.

Características principales

La fábrica de carburo cementado de Beijing es famosa por sus aplicaciones en mecanizado de precisión, que incluyen:

I+ D de tecnología : cooperar con el Instituto de Investigación de Metales No Ferrosos de Beijing y otras instituciones para centrarse en el desarrollo de materiales de carburo cementado de alta precisión.

Áreas de aplicación : Los productos se utilizan principalmente en campos de fabricación de alta gama, como la industria electrónica y aeroespacial, satisfaciendo las necesidades de alta tecnología en Beijing.

Ventajas geográficas : Ubicado en la capital, es fácil obtener apoyo político y recursos técnicos.

status quo

La Fábrica de Carburo Cementado de Beijing se ha integrado al Instituto de Investigación de Metales No Ferrosos de China, centrándose en la investigación, el desarrollo y la producción de materiales de carburo cementado de alta gama. Los productos de la empresa se utilizan principalmente en los sectores aeroespacial, electrónico y de fabricación de precisión, y también participa en proyectos nacionales clave de investigación científica, como aleaciones de alta entropía y nanomateriales.

6. Hubei Jiangzuan (Hubei Jiangnan Petroleum Drill Bit Co., Ltd.)

Origen e historia de la construcción

Hubei Jiangzuan, o Hubei Jiangnan Oil Drill Bit Co., Ltd., se estableció en 1973 y está ubicada en Ciudad de Jingzhou, provincia de Hubei. Es una importante empresa productora de carburo cementado, fundada durante la "Construcción de la Tercera Línea" para impulsar el desarrollo de la industria petrolera. Se encuentra en la llanura de Jiangnan, cerca del importante yacimiento petrolífero de China, el yacimiento de Jiangnan, y goza de una ubicación geográfica privilegiada, ideal para la industria petrolera. El origen de Hubei Jiangzuan se remonta al rápido desarrollo de la industria petrolera china en la década de 1970, especialmente el desarrollo de los yacimientos de Daqing y Jiangnan, lo que impulsó un aumento en la demanda de brocas de carburo cementado de alto rendimiento.

Construcción y desarrollo

Hubei Jiangzuan se centró inicialmente en la producción de brocas y herramientas de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cementado para la perforación petrolera. Atendiendo a las necesidades reales del yacimiento petrolífero de Jiangnan, desarrolló una variedad de productos de carburo cementado resistentes al desgaste y de alta resistencia. A finales de la década de 1970, la fábrica colaboró con instituciones nacionales de investigación científica para desarrollar brocas de carburo cementado adecuadas para condiciones geológicas complejas. En la década de 1980, tras la reforma y la apertura, Hubei Jiangzuan introdujo tecnología extranjera avanzada y desarrolló brocas de compuesto de diamante (PDC), mejorando aún más la eficiencia de la perforación.

Características principales

Hubei Jiangzuan es conocida por su producción profesional en el campo de la perforación petrolera, con las siguientes características:

Enfoque de la industria : Nos centramos en herramientas de carburo cementado para la perforación petrolera, y los productos atienden directamente a los principales campos petrolíferos nacionales, como Jiangnan Oilfield y Daqing Oilfield.

Innovación tecnológica : La tecnología de pieza compuesta de diamante se introdujo en la década de 1980, y las brocas PDC desarrolladas han tenido un buen desempeño en la perforación de pozos profundos y formaciones duras.

Ventajas geográficas : cerca del campo petrolífero de Jiangnan, conveniente para la cooperación con empresas petroleras y respuesta rápida a la demanda del mercado.

status quo

Hubei Jiangzuan es actualmente una importante empresa de China Petrochemical Corporation (Sinopec) y uno de los principales fabricantes nacionales de brocas para perforación petrolera y herramientas de carburo. Sus productos abarcan la perforación de petróleo y gas, y se exportan a Oriente Medio, Norteamérica y otras regiones. Hubei Jiangzuan continúa impulsando la fabricación inteligente y desarrollando brocas de alto rendimiento para satisfacer las necesidades de perforación en aguas profundas y la explotación de recursos no convencionales de petróleo y gas.

7. Fábrica de carburo cementado de Chengdu (Instituto de Investigación de Herramientas de Chengdu)

Origen e historia de la construcción

La Fábrica de Carburo Cementado de Chengdu, dependiente del Instituto de Investigación de Herramientas de Chengdu, se fundó en 1965 y se encuentra en Chengdu, provincia de Sichuan. Es otra importante base de producción de carburo cementado en la región suroeste durante el período de la "Construcción de Tercera Línea". El Instituto de Investigación de Herramientas de Chengdu fue creado por el Ministerio de Industria Maquinaria para desarrollar herramientas de corte de alto rendimiento y materiales de carburo cementado, y la Fábrica de Carburo Cementado de Chengdu es su base de producción.

Construcción y desarrollo

En sus inicios, la Fábrica de Carburo Cementado de Chengdu producía principalmente herramientas de corte y moldes, para abastecer a las industrias de fabricación de maquinaria y aviación de la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

región suroeste. En la década de 1970, la fábrica desarrolló herramientas de carburo cementado de alta precisión para el procesamiento de motores de aviación. En la década de 1980, tras la reforma y la apertura, la Fábrica de Chengdu colaboró con empresas extranjeras, introdujo tecnología de recubrimiento y desarrolló herramientas recubiertas de alto rendimiento.

Características principales

La fábrica de carburo cementado de Chengdu es conocida por su investigación y desarrollo tecnológico en el campo de las herramientas de corte, con las siguientes características:

Apoyo a la investigación científica : Con el apoyo del Instituto de Investigación de Herramientas de Chengdu, cuenta con sólidas capacidades de investigación y desarrollo técnico.

Aplicación de aviación : Los productos se utilizan ampliamente en la industria de la aviación, como en el procesamiento de álabes de motores de aeronaves.

Cooperación técnica : Desde la década de 1980, hemos cooperado con empresas extranjeras para desarrollar herramientas recubiertas que mejoran la eficiencia de corte.

status quo

El Instituto de Investigación de Herramientas de Chengdu es ahora una subsidiaria de la Corporación Nacional de la Industria de Maquinaria de China, y su negocio de producción de carburo se ha integrado en Chengdu Tool Co., Ltd. La empresa se centra en la investigación, el desarrollo y la producción de herramientas de corte de alto rendimiento y moldes de carburo, y sus productos sirven a los campos de la industria aeroespacial, la fabricación de automóviles, etc. El Instituto de Investigación de Herramientas de Chengdu sigue siendo uno de los centros de I+D de la industria de herramientas nacional.

8. Fábrica de carburo cementado de Shanghái

Origen e historia de la construcción

La Fábrica de Carburo Cementado de Shanghái se fundó en 1958 y está ubicada en Shanghái. Es una de las primeras empresas productoras de carburo cementado establecidas tras la fundación de la Nueva China. Como centro industrial de China, Shanghái ha desarrollado las industrias de fabricación de maquinaria y electrónica. La creación de la Fábrica de Carburo Cementado de Shanghái busca satisfacer la demanda de materiales de carburo cementado en el este de China.

Construcción y desarrollo

En sus inicios, la Fábrica de Carburo Cementado de Shanghái producía principalmente herramientas de corte y piezas resistentes al desgaste, para la industria del mecanizado de Shanghái y sus alrededores. En la década de 1960, la fábrica colaboró con la Universidad Jiaotong de Shanghái para desarrollar moldes de carburo cementado de alta precisión para la industria electrónica. En la década de 1970, comenzó a producir herramientas de minería para impulsar el desarrollo minero en el este de China. En la década de 1980, tras la reforma y la apertura, la fábrica de Shanghái introdujo tecnología extranjera y desarrolló herramientas de carburo cementado recubiertas.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Características principales

La fábrica de carburo cementado de Shanghai es famosa por sus aplicaciones en herramientas de corte e industrias electrónicas, con las siguientes características:

Base industrial : Gracias a la base industrial de Shanghai, nuestros productos se utilizan ampliamente en la fabricación de maquinaria y en las industrias electrónicas.

Cooperación técnica : Cooperar con la Universidad Jiaotong de Shanghai y otras universidades para desarrollar moldes de carburo cementado de alta precisión.

Capacidad de exportación : Desde la década de 1980, los productos de la fábrica de Shanghai comenzaron a exportarse al sudeste asiático, mejorando su competitividad internacional.

status quo

Shanghai Tool Factory Co., Ltd., afiliada a Shanghai Electric Group, se ha integrado en Shanghai Tool Factory Co., Ltd. La empresa se centra en la producción de herramientas de corte y moldes de carburo cementado, y sus productos se destinan a la fabricación de automóviles, la industria electrónica y otros sectores. Shanghai Tool Factory continúa desempeñando un papel importante en la industria del carburo cementado en el este de China, promoviendo la producción inteligente.

9. Fábrica de carburo cementado de Xi'an

Origen e historia de la construcción

La Fábrica de Carburo Cementado de Xi'an se fundó en 1969 y está ubicada en Xi'an, provincia de Shaanxi. Es una base de producción de carburo cementado establecida en el noroeste durante el período de la "Construcción de Tercera Línea". Como importante ciudad industrial del noroeste, Xi'an cuenta con una desarrollada industria aeronáutica y de fabricación de maquinaria. La fundación de la Fábrica de Carburo Cementado de Xi'an busca impulsar el desarrollo industrial de la región noroeste.

Construcción y desarrollo

La Fábrica de Carburo Cementado de Xi'an inicialmente producía herramientas de minería y herramientas de corte, para abastecer a las industrias minera y de fabricación de maquinaria en Shaanxi y sus alrededores. En la década de 1970, la fábrica desarrolló herramientas de carburo cementado para la industria aeronáutica.

Características principales

Servicios regionales : Los productos se destinan principalmente a las industrias minera y aeronáutica de la región noroeste.

Acumulación de tecnología : cooperar con la Universidad Xi'an Jiaotong y otras universidades para desarrollar herramientas de carburo cementado de alto rendimiento.

status quo

La fábrica de carburo cementado de Xi'an ahora se ha integrado a una subsidiaria de China Aviation Industry Corporation, centrándose en la producción de herramientas de carburo cementado para la aviación.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10. Fábrica de carburo cementado de Changsha

Origen e historia de la construcción

La Fábrica de Carburo Cementado de Changsha se fundó en la década de 1960 y está ubicada en la ciudad de Changsha, provincia de Hunan. Aprovechando los recursos de mineral de tungsteno de Hunan, es otra base de producción de carburo cementado establecida en Hunan después de la Fábrica Zhuzhou 601.

Construcción y desarrollo

La Fábrica de Carburo Cementado de Changsha inicialmente producía herramientas de minería y piezas resistentes al desgaste para apoyar a la industria minera en Hunan y sus alrededores. En la década de 1980, la fábrica desarrolló herramientas de corte para la industria de fabricación de maquinaria.

Características principales

Soporte de recursos : utilizar conjuntamente los recursos de mineral de tungsteno de Hunan con la fábrica Zhuzhou 601.

Colaboración regional : complementar la planta de Zhuzhou y apoyar el desarrollo de la industria de carburo cementado de Hunan.

status quo

La fábrica de carburo cementado de Changsha ahora se ha incorporado al Grupo de carburo cementado de Zhuzhou y se ha convertido en una de sus bases de producción subordinadas, centrándose en la producción de herramientas de minería.

Las fábricas Zhuzhou 601, Zigong 764, Nanchang 603, Mudanjiang 212, Beijing, Hubei, Jiangzuan, Chengdu, Shanghai, Xi'an y Changsha son importantes representantes del desarrollo de la industria del carburo cementado en China y han contribuido a su desarrollo en diferentes períodos históricos y regiones. Las fábricas Zhuzhou 601 y Zigong 764 mantienen vínculos indirectos en la herencia tecnológica y la colaboración industrial, impulsando conjuntamente el desarrollo de la industria del carburo cementado en China. La fábrica 601 de Zhuzhou sentó las bases de la industria; las fábricas 764 de Zigong, 603 de Nanchang, Hubei Jiangzuan y Chengdu, aprovechan los recursos y las ventajas regionales para atender a la industria del suroeste y petrolera; las fábricas 212 de Mudanjiang apoyan la industria del noreste y la construcción de la defensa nacional; y las fábricas 212 de Xi'an y Changsha atienden a las regiones del noroeste y Hunan. La construcción y el desarrollo de estas fábricas reflejan la trayectoria de China, desde la introducción de tecnología hasta la innovación independiente, y actualmente siguen desempeñando un papel importante en la fabricación inteligente y ecológica y la competitividad global.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

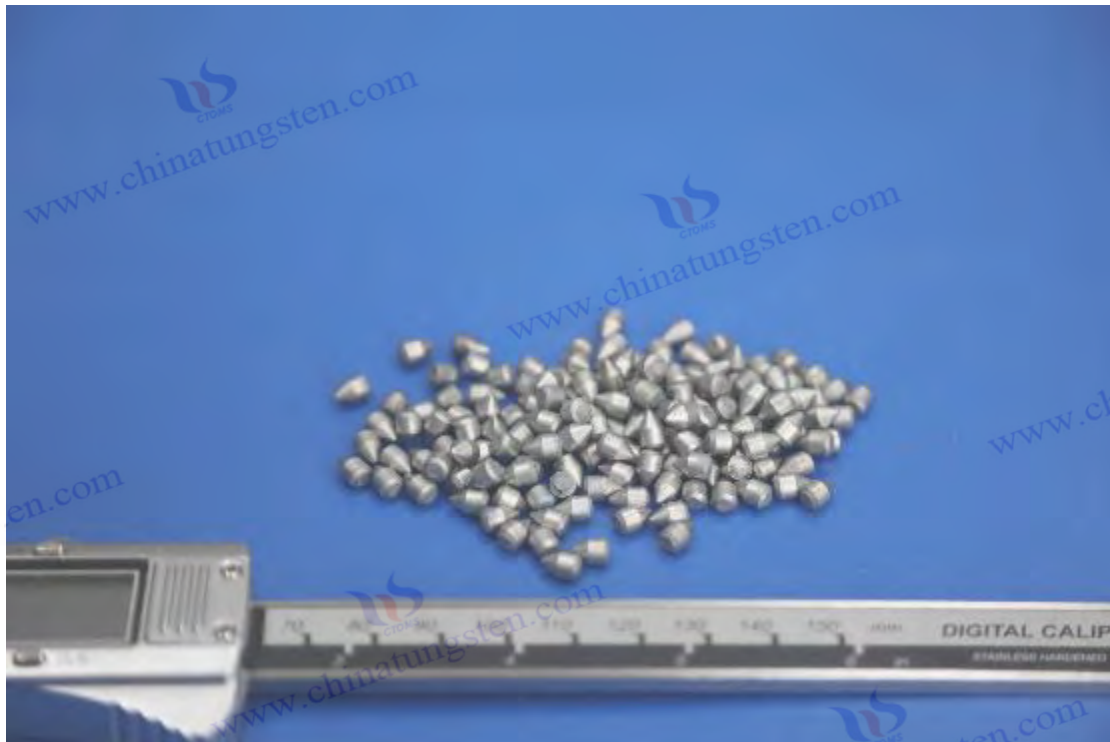
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Un apéndice:

El desarrollo de la industria del tungsteno y el carburo cementado en China

1. Antecedentes y proceso de constitución

La creación de la Corporación de la Industria de Metales No Ferrosos de China (en adelante, la "Corporación de Metales No Ferrosos") es un paso clave en la transformación de la industria de metales no ferrosos de China de una economía planificada a una economía de mercado. Tras la fundación de la República Popular China en 1949, la industria de metales no ferrosos estaba gestionada centralmente por el Estado, y los recursos de tungsteno eran altamente valorados como minerales estratégicos. Tras la reforma y apertura de 1978, el Estado ajustó gradualmente el sistema de gestión económica y realizó la transición de una economía planificada a una economía de mercado. En octubre de 1981, la Comisión Económica Estatal estableció la Administración Estatal de Metales No Ferrosos, siguiendo las instrucciones del Consejo de Estado, responsable de coordinar el desarrollo de la industria nacional de metales no ferrosos (según los "Archivos Económicos Seleccionados de la República Popular China·1981"). El 25 de septiembre de 1982, el Consejo de Estado emitió la "Decisión sobre el Ajuste del Sistema de Gestión de Metales No Ferrosos" (Guofa [1982] Núm. 169), que disponía la reestructuración de la Administración Estatal de Metales No Ferrosos, transformándola en una persona jurídica corporativa, y la creación de la Corporación de la Industria de Metales No Ferrosos de China. El 15 de abril de 1983, el Consejo de Estado aprobó formalmente el "Informe de la Comisión Económica Estatal sobre el Establecimiento de la Corporación de la Industria de Metales No Ferrosos de China" (Guo Jing [1983] Núm. 45), estableciéndose formalmente la Corporación de Metales No Ferrosos, bajo la administración directa de la Comisión de Supervisión y Administración de Activos Estatales del Consejo de Estado

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

(SASAC). Como empresa central, es responsable de la producción, el comercio y la cooperación internacional de metales no ferrosos.

La creación de la Compañía de Metales No Ferrosos está estrechamente relacionada con el desarrollo de los recursos de tungsteno de China y la internacionalización de la industria del carburo cementado. En febrero de 1983, el Consejo de Estado emitió las "Disposiciones sobre la Expansión de los Intercambios Económicos y Tecnológicos con el Exterior" (Guofa [1983] N.º 28), que exigían a la Compañía de Metales No Ferrosos realizar pruebas piloto en zonas económicas especiales como Shenzhen, Zhuhai, Shantou y Xiamen, y otorgaban autonomía local y corporativa en la importación y exportación. Con este fin, la Compañía de Metales No Ferrosos estableció su primera sucursal en el extranjero, en Hong Kong, en junio de 1983, y posteriormente estableció oficinas en Shenzhen, Zhuhai y Xiamen, así como oficinas de representación en Japón, Estados Unidos, Corea del Sur, Australia y otros países, construyendo una red comercial que impulsa la internacionalización de los productos de tungsteno y carburo cementado.

2. Estructura organizacional

La estructura organizativa de la empresa de metales no ferrosos está diseñada en función de las necesidades de gestión de las industrias de tungsteno y carburo cementado. Se divide en una sede central y unidades subordinadas, que abarcan la producción, el comercio y la investigación y el desarrollo tecnológico (según el "Anuario de la Industria de Metales No Ferrosos de China 1985").

La sede

está situada en Pekín y está formada por:

Departamento de Gestión de Producción: responsable de la planificación de la producción de carburo cementado y de la minería de tungsteno, y de la gestión de proyectos clave de minería de tungsteno en todo el país.

Departamento de Comercio de Importación y Exportación: Responsable de la asignación de cuotas de exportación y el desarrollo del mercado internacional de productos de tungsteno y carburo cementado.

Departamento de I+D de Tecnología: Coordinar la introducción y el desarrollo de tecnologías de tungsteno y carburo cementado.

Departamento de Finanzas: Administra fondos y costos.

Departamento de Recursos Humanos: responsable de la gestión de personal.

Las unidades

involucradas en el tungsteno y carburo cementado incluyen:

Fábrica de carburo cementado de Zhuzhou

La fábrica, fundada en 1954 y afiliada a la Compañía de Metales No Ferrosos, es la mayor planta de producción de carburo cementado de mi país, donde se producen herramientas de corte de cobre-wc y materiales resistentes al desgaste.

Fábrica de carburo cementado de Nanchang

La fábrica se estableció en 1965 para producir polvo de carburo de tungsteno y productos de carburo

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

cementado.

Corporación Nacional de Importación y Exportación de Metales No Ferrosos de China

Fundada en 1983, responsable de la exportación de tungsteno y carburo cementado y de la importación de materias primas.

Centro de I+D de tecnología de la industria del tungsteno

Se estableció en 1988 junto con el Instituto de Investigación de Metales, Academia de Ciencias de China, para desarrollar aleaciones de alta temperatura basadas en tungsteno.

Sucursales en el extranjero

La sucursal de Hong Kong (establecida en junio de 1983) es la ventana principal para las exportaciones de tungsteno y carburo cementado, y las oficinas de representación en Japón, Estados Unidos, Corea del Sur y Australia apoyan el comercio internacional.

3. Desarrollo de la industria de los recursos de tungsteno y del carburo cementado

Las empresas de metales no ferrosos dominan el desarrollo de recursos de tungsteno y la industria del carburo cementado de China, basándose en abundantes reservas de tungsteno y tecnología avanzada.

Desarrollo de recursos de tungsteno

Las reservas de tungsteno de China son de aproximadamente 2 millones de toneladas de equivalente de trióxido de tungsteno, lo que representa el 47% del mundo (datos de ITIA 2023), y Jiangxi representa más del 60% del país. En la década de 1980, la compañía no ferrosa integró la mina de tungsteno Xihuashan en Jiangxi (descubierta en 1907, con una reserva de 200.000 toneladas), la mina de tungsteno Dajishan en Ganzhou (desarrollada en 1958, con una reserva de 150.000 toneladas) y la mina polimetálica de tungsteno Shizhuyuan en Hunan (desarrollada en la década de 1980). En 1984, el "Sexto Plan Quinquenal para la Industria de Metales No Ferrosos" (1981-1985) propuso que el volumen de extracción anual de mineral de tungsteno se controlara dentro de las 35.000 toneladas para proteger la sostenibilidad de los recursos. En 1990, la producción anual de concentrado de tungsteno de las filiales de empresas no ferrosas fue de alrededor de 30.000 toneladas, lo que representa el 70% del país (Anuario estadístico industrial de 1990 de la Oficina Nacional de Estadísticas).

Producción de carburo cementado

Las empresas de metales no ferrosos promueven el desarrollo de la industria del carburo cementado. En 1985, la fábrica de carburo cementado de Zhuzhou introdujo la tecnología soviética de pulvimetalurgia, y la vida útil de las herramientas de carburo cementado WC-6%Co producidas fue tres veces mayor que la del acero de alta velocidad (Archivos técnicos de la Asociación de la industria de metales no ferrosos de China). En 1987, la fábrica de carburo cementado de Nanchang construyó una línea de producción con una producción anual de 500 toneladas de polvo de carburo de tungsteno, con un valor de producción anual de aproximadamente 80 millones de yuanes (Estadísticas industriales de la Oficina Nacional de Estadísticas en 1987). En 1990, la producción nacional de carburo cementado fue de aproximadamente 15.000 toneladas, de las cuales las filiales de la compañía de metales no ferrosos contribuyeron con aproximadamente el 60% (Datos de la

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Oficina Nacional de Estadísticas en 1990). En 1988, el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico desarrolló aleaciones de alta temperatura basadas en tungsteno para su uso en motores de vehículos de lanzamiento.

Gestión de negocios de importación y exportación.

Nonferrous Metals Company es el principal canal de importación y exportación de tungsteno y carburo cementado. En junio de 1983, el Consejo de Estado emitió el "Aviso sobre la Adaptación de las Regulaciones para la Administración de Exportaciones de Metales No Ferrosos" (Guofa [1983] No. 87), designando a Nonferrous Metals Company como responsable de la gestión de cuotas. En 1985, se exportaron alrededor de 15.000 toneladas de productos de tungsteno (aleaciones duras y alambre de tungsteno), lo que representa el 85% del mercado nacional (Estadísticas de la Administración General de Aduanas de 1985). Los principales mercados fueron Japón (Mitsui & Co.), Estados Unidos (General Electric) y Canadá (Noranda). En 1986, la sucursal de Hong Kong se registró en la Bolsa de Metales de Londres, cotizó productos de tungsteno y participó en las negociaciones del Acuerdo Internacional sobre el Tungsteno. A principios de la década de 1990, se importaban anualmente alrededor de 500 toneladas de materias primas de tungsteno de alta pureza para apoyar la producción de carburos cementados de alta gama (datos del Ministerio de Comercio en 1992).

Política y apoyo técnico.

En 1988, el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico desarrolló aleaciones de tungsteno de alta temperatura para su uso en la industria aeroespacial. En 1992, las "Medidas para la Administración de la Industria del Tungsteno" (Departamento de Economía y Comercio del Estado [1992] n.º 123) regularon la minería y las exportaciones, y restringieron la minería indiscriminada en pequeñas minas.

4. Disolución y herencia

El 16 de abril de 1997, la "Decisión sobre la Profundización de la Reforma de las Empresas Estatales" del Consejo de Estado (Guofa [1997] N.º 5) promovió la reorganización de la Compañía de Metales No Ferrosos, y los activos de alta calidad se desinvertieron para formar China Nonferrous Metals Construction (NFC). El 20 de noviembre de 1997, China Nonferrous Metals Construction comenzó a cotizar en bolsa (código bursátil: 000758) y asumió el negocio de ingeniería (sitio web oficial de China Nonferrous Metals Construction: www.nfc.com.cn). En octubre de 2003, las "Opiniones orientadoras sobre la reorganización de las empresas estatales" del Consejo de Estado (Guofa [2003] No. 96) aprobaron la disolución de la Compañía de Metales No Ferrosos, y el negocio de tungsteno y carburo cementado se transfirió a Jiangxi Tungsten Industry y China Minmetals Group, y los derechos de gestión de importación y exportación fueron devueltos al Ministerio de Comercio.

5. Importancia e impacto

Las empresas de metales no ferrosos han impulsado la transformación del tungsteno y el carburo cementado de China, de una economía planificada a una economía de mercado. Su estrategia de

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

internacionalización ha logrado que las exportaciones de tungsteno representen el 50 % del total mundial (informe ITIA de 1990). En 2023, la producción de concentrado de tungsteno alcanzará las 114 000 toneladas, y la proporción de procesamiento profundo de carburo cementado alcanzará el 40 % (datos de la Oficina Nacional de Estadística de 2023), lo que refleja la base industrial que han establecido.

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Un apéndice:

**ISO 513:2012 Clasificación y aplicación de materiales de corte duro,
Filos para corte de metales - Designación de categorías principales y categorías de aplicación**
Clasificación y aplicación de materiales de corte duros para la eliminación de metal con filos de
corte definidos: designación de los principales grupos y grupos de aplicación

Versión china de la norma internacional "ISO 513:2012"

Norma N°
ISO 513:2012

Nombre estándar (chino)

Clasificación y aplicación de materiales de corte duro, materiales con filos definidos para el corte
de metales - Designación de clases principales y clases de aplicación

Nombre estándar (original en inglés)

Clasificación y aplicación de materiales de corte duros para la eliminación de metal con filos de
corte definidos: designación de los principales grupos y grupos de aplicación

Agencia editorial

Organización Internacional de Normalización (ISO)

Comité Técnico

ISO/TC 29/SC 9 (Comité Técnico para Herramientas Pequeñas/Subcomité sobre Materiales de
Corte Duro)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Fecha del primer lanzamiento

5 de noviembre de 2012

Estado de la versión actual

Fecha de lanzamiento: 5 de noviembre de 2012

Última revisión y confirmación: 2018

Estado actual : actualmente vigente (a partir del 20 de mayo de 2025)

Idiomas

Idiomas oficiales: inglés, francés

Traducción al chino: Versión en idioma no oficial (este documento está traducido del chino)

Ámbito de aplicación

Esta Norma Internacional especifica la clasificación y aplicación de materiales de corte duros para operaciones de arranque de viruta metálica, incluyendo materiales como el carburo cementado (metal duro), la cerámica, el diamante y el nitruro de boro cúbico, e identifica sus principales categorías y aplicaciones. Esta norma se aplica a herramientas con filos definidos para operaciones de corte de materiales metálicos.

Ámbito inaplicable:

Herramientas de minería y otras de impacto;

Matrices de trefilado de alambre;

Herramientas para trabajar por deformación de metales;

Contacto comparador y otros usos.

Sistema de clasificación

Esta norma divide los materiales de corte duro en categorías principales y categorías de aplicación, que son las siguientes:

Categorías principales por tipo de material:

Carburo cementado (metal duro, código: H): a base de carburo de tungsteno (WC) o carburo de titanio (TiC), combinado con aglutinantes como cobalto (Co) o níquel (Ni).

Cerámica (código: C): incluyendo óxido de aluminio (Al_2O_3), nitruro de silicio (Si_3N_4), etc.

Diamante (código: D): incluye el diamante natural y el diamante policristalino sintético (PCD).

Nitruro de boro cúbico (código: B): incluye nitruro de boro cúbico monocristalino (CBN) y nitruro de boro cúbico policristalino (PCBN).

Categorías de aplicaciones (por finalidad del tratamiento):

Categoría P (apta para procesar acero): como acero ordinario, acero inoxidable y acero aleado.

Clase M (apta para procesar acero inoxidable y aleaciones resistentes al calor): como acero inoxidable austenítico y aleaciones a base de níquel.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Clase K (apta para procesar hierro fundido): como hierro fundido gris y hierro dúctil.

Categoría N (apta para el procesamiento de metales no ferrosos): como aluminio, cobre y sus aleaciones.

Categoría S (adecuada para procesar aleaciones de alta temperatura): como aleaciones de titanio y aleaciones de alta temperatura a base de níquel.

Clase H (apta para mecanizar materiales duros): como acero endurecido (dureza > 45 HRC) y fundición dura.

Cómo especificar la categoría de la aplicación

Estructura del código: Cada categoría de aplicación está representada por una combinación de letras y números.

La letra indica el tipo de material que se está procesando (P, M, K, N, S, H).

El número indica el nivel de las condiciones de corte o las propiedades del material (normalmente de 01 a 50; cuanto mayor sea el número, más severas serán las condiciones de corte o más duro el material).

Ejemplo: P10 significa corte de carga ligera adecuado para el procesamiento de acero; K20 significa corte de carga media adecuado para el procesamiento de hierro fundido.

Ejemplo de combinación:

Herramientas de carburo, con nombre en código "HM P20": indican material de carburo (HM), adecuado para el corte de carga media (20) de procesamiento de acero (P).

Herramienta de nitruro de boro cúbico, con nombre en código "BN H05": indica material de nitruro de boro cúbico (BN), adecuado para el corte de carga ligera (05) de procesamiento de material duro (H).

Propósito de la Norma

Clasificación unificada: proporcionar un sistema de clasificación unificado a nivel mundial para materiales de corte duro, lo que facilita que los fabricantes y usuarios elijan los materiales de corte adecuados.

Guía de aplicación: al especificar las categorías principales y las categorías de aplicación, ayuda a los usuarios a seleccionar los materiales de corte duro más adecuados según los materiales de procesamiento y las condiciones de corte.

Promover el comercio: Estandarizar códigos y clasificaciones para promover el comercio internacional y los intercambios técnicos de materiales de corte duro.

Normas relacionadas

ISO 1832: Un sistema de designación para herramientas de corte utilizado para especificar la geometría y el material de la herramienta.

ISO 5608: Sistema de designación para herramientas de torneado y fresado.

ISO 9001: Norma de sistema de gestión de calidad (relacionada con la producción de materiales de corte duro).

Escenarios de uso

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Esta norma se utiliza ampliamente en la industria del mecanizado, incluidos, entre otros:
Fabricación de automóviles: procesamiento de piezas de motor, cigüeñales, engranajes, etc.
Aeroespacial: Procesamiento de piezas de aleaciones de alta temperatura y de aleaciones de titanio.
de moldes : mecanizado de moldes de acero templado .
Maquinaria en general: procesamiento de piezas de fundición y metales no ferrosos.

Cómo conseguirlo

Fuente oficial: [Las versiones en PDF o papel están disponibles para su compra en inglés o francés en el sitio web oficial de ISO \(www.iso.org\).](#)

Otros canales: Obtener a través de distribuidores autorizados como ANSI (American National Standards Institute), BSI (British Standards Institution), etc.

Nota: Algunos países y regiones pueden proporcionar versiones traducidas, pero se debe garantizar la precisión de las versiones traducidas.

Historia

ISO 513:2004: Versión anterior, publicada en 2004 y reemplazada por la versión actual en 2012.

ISO 513:1991: Una versión anterior, publicada en 1991 y reemplazada en 2004.

Notas adicionales

Esta norma no aborda los parámetros de rendimiento específicos de los materiales de corte duro (como dureza, resistencia a la flexión, etc.). Los usuarios deben tomar decisiones basándose en los datos proporcionados por el proveedor del material.

El código de categoría de aplicación de esta norma debe utilizarse junto con las condiciones de corte (como la velocidad de corte, la velocidad de avance y el método de enfriamiento) para garantizar los mejores resultados de mecanizado.

en conclusión

La norma ISO 513:2012 proporciona una especificación global unificada para la clasificación y aplicación de materiales de corte duro, que abarca diversos materiales como el carburo cementado, la cerámica, el diamante y el nitruro de boro cúbico, y es adecuada para diversas aplicaciones de corte de metales. Mediante un sistema de codificación claro, los usuarios pueden seleccionar rápidamente los materiales de corte adecuados para mejorar la eficiencia del procesamiento y la vida útil de la herramienta. Esta norma es de gran importancia en la industria del mecanizado y promueve la estandarización y la aplicación internacional de materiales de corte duro.

Notas adicionales

El contenido anterior se basa en información del sitio web oficial de ISO y otras bases de datos estándar para garantizar la precisión y la autoridad.

Los nombres chinos y algunas descripciones están traducidos y editados, no son la versión oficial china de ISO y son solo para referencia.

Si necesita obtener el texto original de la norma o información más detallada, se recomienda visitar el sitio web oficial de ISO o contactar a un distribuidor autorizado.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Clasificación y aplicación de materiales de corte duros para la eliminación de metal con filos de corte definidos: designación de los grupos principales y grupos de aplicación

Clasificación y aplicación de materiales de corte duro, materiales con filos definidos para el corte de metales.

- Designación de categorías principales y categorías de aplicación

Norma Internacional ISO 513:2012 (Versión en inglés)

Número estándar

ISO 513:2012

Título estándar (inglés)

Clasificación y aplicación de materiales de corte duros para la eliminación de metal con filos de corte definidos: designación de los principales grupos y grupos de aplicación

Título estándar (traducido al chino para referencia)

Clasificación y aplicación de materiales de corte duro, materiales con filos definidos para el corte de metales - Designación de clases principales y clases de aplicación

Organización editorial

Organización Internacional de Normalización (ISO)

Comité Técnico

ISO/TC 29/SC 9 (Comité Técnico para Herramientas Pequeñas / Subcomité para Materiales de Corte Duro)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Fecha de la primera publicación

5 de noviembre de 2012

Estado de la versión actual

Fecha de publicación: 5 de noviembre de 2012

Última revisión y confirmación: 2018

Estado actual: Activo (al 20 de mayo de 2025)

Versiones en otros idiomas

Idiomas oficiales: inglés, francés

Otros idiomas: Es posible que haya traducciones no oficiales disponibles en ciertas regiones (por ejemplo , chino, como se mencionó anteriormente).

Alcance

Esta Norma Internacional especifica la clasificación y aplicación de materiales de corte duros utilizados para la eliminación de metal con filos definidos, incluyendo metales duros (carburos), cerámica, diamante y nitruro de boro cúbico. Designa los principales grupos y áreas de aplicación de estos materiales. La norma se aplica a herramientas con filos definidos utilizadas para el corte de materiales metálicos.

Exclusiones:

Herramientas para minería u otras aplicaciones de impacto;

Matrices para trefilado de alambre;

Herramientas utilizadas para el conformado de metales por deformación;

Aplicaciones como puntas de contacto de comparadores u otros usos sin corte.

Sistema de clasificación

La norma clasifica los materiales de corte duro en grupos principales y grupos de aplicación de la siguiente manera:

Grupos principales (según el tipo de material):

Metales duros (Código: H): Basados en carburo de tungsteno (WC) o carburo de titanio (TiC) con cobalto (Co) o níquel (Ni) como aglutinantes.

Cerámica (Código: C): Incluye aluminio (Al_2O_3) , nitruro de silicio (Si_3N_4) , etc.

Diamante (Código: D): Incluye diamante natural y diamante policristalino (PCD).

Nitruro de boro cúbico (Código: B): Incluye nitruro de boro cúbico monocristalino (CBN) y nitruro de boro cúbico policristalino (PCBN).

Grupos de aplicación (según el uso del mecanizado):

Grupo P (para mecanizar acero): incluye acero simple, acero inoxidable y acero aleado.

Grupo M (Para mecanizar acero inoxidable y aleaciones resistentes al calor): Incluye acero

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

inoxidable austenítico y aleaciones a base de níquel.

Grupo K (para mecanizar fundición): incluye fundición gris y fundición dúctil.

Grupo N (Para mecanizar metales no ferrosos): Incluye aluminio, cobre y sus aleaciones.

Grupo S (Para mecanizar aleaciones de alta temperatura): Incluye aleaciones de titanio y superaleaciones a base de níquel.

Grupo H (para mecanizar materiales duros): incluye acero endurecido (>45 HRC), fundición dura.

Método de designación para grupos de aplicación

Estructura del código: cada grupo de aplicaciones está representado por una combinación de letras y números.

La letra indica el tipo de material a mecanizar (P, M, K, N, S, H).

El número indica la condición de corte o el nivel de rendimiento del material (normalmente de 01 a 50; números más altos indican condiciones más exigentes o materiales más duros).

Ejemplo: P10 indica idoneidad para corte de acero con carga ligera; K20 indica idoneidad para corte de hierro fundido con carga media.

Ejemplos de combinaciones:

de metal duro , código "HM P20": Indica un material de metal duro (HM) adecuado para corte de carga media (20) de acero (P).

Herramienta de nitruro de boro cúbico, código "BN H05": Indica un material de nitruro de boro cúbico (BN) adecuado para el corte con carga ligera (05) de materiales duros (H).

Propósito de la Norma

Clasificación unificada: proporciona un sistema de clasificación reconocido mundialmente para materiales de corte duro, lo que facilita la selección por parte de fabricantes y usuarios.

Guía de aplicación: ayuda a los usuarios a seleccionar el material de corte más apropiado según el material que se va a mecanizar y las condiciones de corte.

Facilitación del Comercio: Estandariza códigos y clasificaciones para promover el comercio internacional y el intercambio técnico de materiales de corte duro.

Normas relacionadas

ISO 1832: Sistema de designación para herramientas de corte, especificando la geometría y el material de la herramienta.

ISO 5608: Sistema de designación para herramientas de torneado y fresado.

ISO 9001: Norma de sistema de gestión de calidad (relevante para la producción de materiales de corte duro).

Escenarios de uso

Esta norma se aplica ampliamente en la industria del mecanizado, incluidos, entre otros:

Fabricación de automóviles: Mecanizado de componentes de motores, cigüeñales, engranajes, etc.

Aeroespacial: Mecanizado de aleaciones de alta temperatura y aleaciones de titanio.

Fabricación de moldes: Mecanizado de moldes de acero endurecido.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Maquinaria General: Mecanizado de componentes de fundición y metales no ferrosos.

Disponibilidad

Fuente oficial: Disponible para su compra en formato PDF o papel desde el sitio web oficial de ISO (www.iso.org).

Otros canales: Disponible a través de distribuidores autorizados como ANSI (American National Standards Institute), BSI (British Standards Institution), etc.

Nota: Algunas regiones pueden proporcionar versiones traducidas, pero la precisión debe verificarse con las versiones oficiales en inglés o francés.

Versiones históricas

ISO 513:2004: Versión anterior, publicada en 2004, reemplazada por la versión de 2012.

ISO 513:1991: Versión anterior, publicada en 1991, reemplazada por la versión de 2004.

Notas adicionales

Esta norma no especifica los parámetros de rendimiento de los materiales de corte duro (p. ej., dureza, resistencia a la flexión). Los usuarios deben consultar la información del proveedor del material para obtener especificaciones detalladas.

Los códigos de grupo de aplicación deben utilizarse junto con las condiciones de corte (por ejemplo, velocidad de corte, velocidad de avance, método de enfriamiento) para garantizar un rendimiento de mecanizado óptimo.

Conclusión

La norma ISO 513:2012 proporciona un marco estandarizado global para la clasificación y aplicación de materiales de corte duro, que abarca metales duros, cerámica, diamante y nitruro de boro cúbico. Es aplicable a una amplia gama de escenarios de corte de metales. Al ofrecer un sistema de designación claro, la norma permite a los usuarios seleccionar eficientemente los materiales de corte adecuados, mejorando la eficiencia del mecanizado y la vida útil de la herramienta. Esta norma desempeña un papel fundamental en la industria del mecanizado, promoviendo la estandarización y la aplicación internacional de materiales de corte duro.

Notas suplementarias

El contenido se compila a partir de información del sitio web oficial de ISO y de bases de datos estándar, lo que garantiza la precisión y la autenticidad.

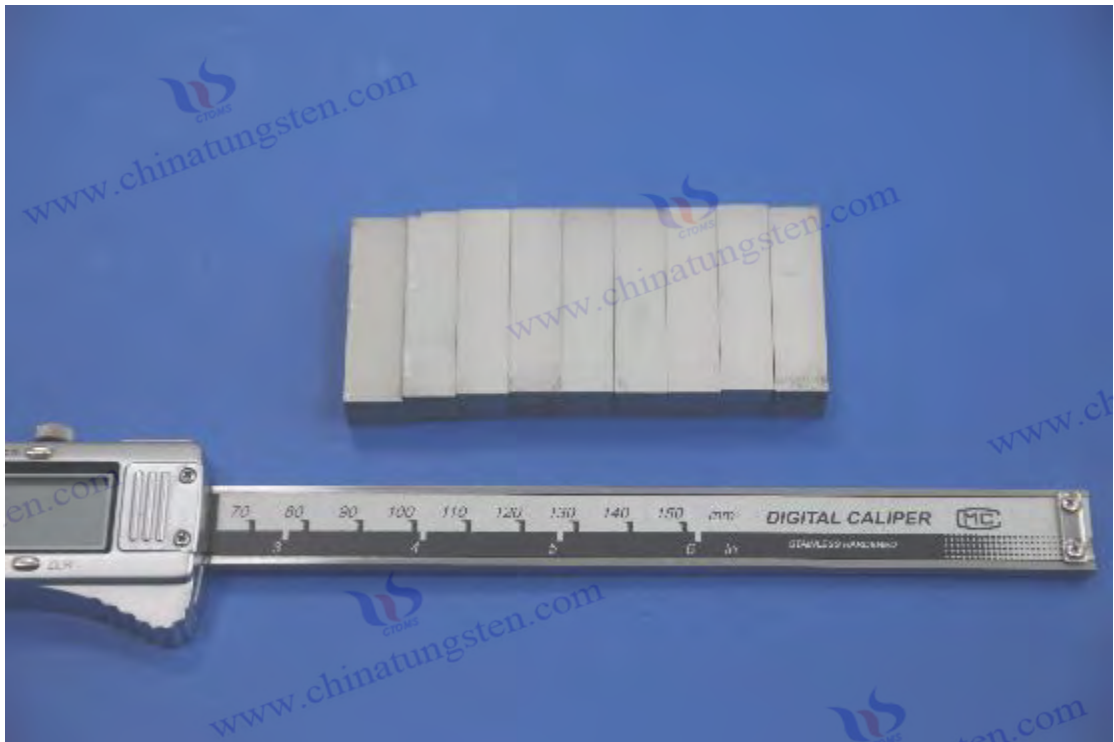
La traducción al chino proporcionada anteriormente es sólo para referencia y no es una versión ISO oficial.

Para obtener el texto estándar original o más detalles, se recomienda visitar el sitio web oficial de ISO o contactar a un distribuidor autorizado.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Un apéndice:

Comparación de carburo cementado, acero de alta velocidad y materiales superduros

1. Definición y composición

Tipo de material	definición	Ingredientes principales
carburo cementado Metal duro /carburo cementado	Un material compuesto sinterizado a partir de partículas de carburo duro y aglutinante metálico, con alta dureza y fuerte resistencia al desgaste.	Fase dura: carburo de tungsteno (WC, 70-95%), carburo de titanio (TiC), carburo de tántalo (TaC). Fase aglutinante : cobalto (Co, 5-15%), níquel (Ni).
Acero de alta velocidad de alta velocidad , HSS	Acero para herramientas de alta aleación que contiene carbono y varios elementos de aleación, adecuado para corte a alta velocidad y buena tenacidad.	Aleación a base de hierro: carbono (C, 0,71,5%), tungsteno (W, 6,18%), molibdeno (Mo, 5,10%), cromo (Cr, 4%), vanadio (V, 15%) y cobalto (Co, 0,8%).
Materiales superduros Materiales superduros	Para procesamientos de alta precisión o extremos se utilizan materiales con una dureza cercana o superior a la del diamante natural.	Diamante natural, diamante sintético (PCD), nitruro de boro cúbico (CBN), cerámica (como Si3N4, Al2O3).

Soporte de datos:

Carburo cementado: dureza WC ~1600-2200 HV, el contenido de cobalto afecta la tenacidad (ScienceDirect, 2020).

Acero de alta velocidad: los grados típicos incluyen M2 (W6Mo5Cr4V2), dureza ~6065 HRC (ASTM A600).

Materiales superduros: Dureza del diamante ~8000-10000 HV, CBN ~4500 HV (Wikipedia, 2024).

2. Comparación de rendimiento

actuación	carburo cementado	Acero de alta velocidad	Materiales superduros
dureza	Alto (1400-2200 HV), solo superado por materiales superduros, con excelente resistencia al desgaste.	Medio (6065 HRC, aproximadamente 700850 HV), inferior al carburo cementado.	Muy alto (4000-10000 HV), muy resistente al desgaste, adecuado para condiciones extremas.
tenacidad	Un contenido medio-alto de cobalto (como 1015%) tiene buena tenacidad, pero es propenso a astillarse.	Alta y fuerte resistencia al impacto, adecuado para cortes complejos.	Bajo, fácil de quebrar y requiere soporte de matriz (como PCD unido a carburo cementado).
Resistencia al calor	Bueno (800-1000°C), adecuado para corte a alta temperatura.	Media (500-600°C), la dureza disminuye a altas temperaturas.	Excelente (diamante ~700°C, CBN ~1400°C), el CBN tiene una resistencia al calor particularmente buena.
Resistencia a la corrosión	Mejor aún, la fase de cobalto es resistente a la corrosión, a los ácidos y a los álcalis.	Generalmente se oxida con facilidad y necesita protección mediante recubrimiento.	Excelente, alta estabilidad química de diamante/CBN.
Velocidad de corte	Alto (100500 m/min), adecuado para un procesamiento eficiente.	Medio (30100 m/min), inferior al carburo.	Muy alta (500-2000 m/min), adecuada para mecanizado de ultra alta velocidad .

Soporte de datos:

Carburo cementado: la velocidad de corte es 35 veces mayor que la del acero de alta velocidad (Sandvik, 2023).

Acero de alta velocidad: después del tratamiento térmico, la dureza puede alcanzar los 65 HRC, pero se ablanda por encima de los 600 °C (ScienceDirect, 2020).

Materiales superduros: la velocidad de corte de CBN de aleaciones de alta temperatura puede alcanzar los 1000 m/min (Wikipedia, 2024).

3. Proceso de fabricación

Tipo de material	Proceso de fabricación	Características
carburo cementado	Metalurgia de polvos: mezcla de polvo de carburo (WC, TiC) y polvo de cobalto, moldeo por prensado y sinterización a alta temperatura (1350-1450 °C).	El proceso es maduro, el tamaño de grano es controlable (0,52 μm) y el contenido de cobalto puede ajustar el rendimiento.
Acero de alta velocidad	Se puede fundir, colar, tratar térmicamente (templar + revenido) y se puede formar mediante forjado y laminado.	Requiere un tratamiento térmico preciso (como temple a 1200 °C) y puede rectificarse repetidamente.
Materiales superduros	Síntesis de alta presión y alta temperatura (HPHT, 5000°C, 5 GPa , como PCD, CBN), deposición química de vapor (CVD, recubrimiento de diamante).	El proceso es complejo, el costo es elevado y requiere el soporte de un sustrato (como el carburo cementado).

Soporte de datos:

Carburo cementado: el tiempo de sinterización es de 12 horas, el tamaño del grano afecta la coercitividad (ISO 3326:2013).

Acero de alta velocidad: el proceso de tratamiento térmico es repetible y mejora la vida útil de la herramienta (ASTM

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A600).

Materiales superduros: la síntesis HPHT consume mucha energía y el espesor del recubrimiento CVD es de 520 μm (ScienceDirect, 2020).

4. Áreas de aplicación

Tipo de material	Aplicaciones principales	Escenarios típicos
carburo cementado	Herramientas de corte (herramientas de torneado, fresas), matrices, brocas, herramientas de minería.	Procesamiento de acero, hierro fundido, acero inoxidable; como herramientas YG8 para procesamiento en bruto.
Acero de alta velocidad	Brocas, fresas, machos de roscar, hojas de sierra y herramientas para formas complejas.	Corte a baja velocidad, procesamiento de materiales blandos (como aluminio, cobre); como brocas M2.
Materiales superduros	Herramientas de mecanizado de precisión, herramientas abrasivas, matrices de trefilado, recubrimientos resistentes al desgaste.	Procesamiento de aleaciones de alta temperatura, cerámicas y materiales compuestos; como el uso de herramientas CBN para procesar piezas de aviación.

Soporte de datos:

Carburo cementado: representa aproximadamente el 50% del mercado mundial de herramientas.

Acero de alta velocidad: bajo costo, representa aproximadamente el 30% del mercado de herramientas de gama baja.

Materiales superduros: mercado de alta gama, las herramientas PCD/CBN se utilizan en la industria aeroespacial .

5. Comparación de ventajas y desventajas

Tipo de material	ventaja	defecto
carburo cementado	Alta dureza y gran resistencia al desgaste. Buena resistencia al calor, ideal para cortes a alta velocidad. Rendimiento ajustable (contenido de cobalto, tamaño de grano).	Su tenacidad es menor que la del acero de alta velocidad y el filo se rompe con facilidad. Su costo es mayor que el del acero de alta velocidad. No es adecuado para el procesamiento a baja velocidad y de alto impacto.
Acero de alta velocidad	Alta tenacidad y alta resistencia al impacto. Rectificado repetible y económico. Fácil procesamiento de herramientas de formas complejas.	Baja dureza y resistencia al calor. Velocidad de corte lenta y baja eficiencia. Se desgasta fácilmente y requiere reemplazo frecuente.
Materiales superduros	Dureza extremadamente alta y larga vida útil. Ideal para mecanizado de alta velocidad y precisión. Alta estabilidad química y resistencia a la corrosión.	Altamente frágil y propenso al astillamiento. Extremadamente costoso de fabricar. No apto para el mecanizado de metales ferrosos (diamante).

Soporte de datos:

Carburo cementado: la vida útil de la herramienta es 510 veces mayor que la del acero de alta velocidad (Sandvik, 2023).

Acero de alta velocidad: el coste es sólo el 20-30% del del carburo cementado ().

Materiales superduros: la vida útil de la herramienta CBN puede alcanzar 1050 veces la del carburo cementado (Wikipedia, 2024).

6. Costo y economía

Tipo de material	costo	Económico
carburo cementado	Mediano (\$50,100 por kg).	Alto rendimiento en relación calidad-precio, adecuado para procesamiento de gama media a alta, larga vida útil y frecuencia de reemplazo reducida.
Acero de alta velocidad	Bajo (\$520 por kg).	Adecuado para procesamiento de lotes pequeños y de bajo costo, pero con alto costo de mantenimiento (se requiere molienda).
Materiales superduros	Alto (\$1,000-5,000 por kg).	Adecuado para mecanizado de precisión de alta gama, con un coste inicial elevado pero una vida útil extremadamente larga.

7. Seleccione sugerencias

Carburo cementado: adecuado para corte de velocidad media y alta , procesamiento general (acero, hierro fundido, acero inoxidable), dureza y tenacidad equilibradas, ampliamente utilizado en la producción industrial.

Acero de alta velocidad: adecuado para corte a baja velocidad, procesamiento de materiales blandos (aluminio, cobre) o herramientas complejas (machuelos, herramientas de conformado) y se prefiere cuando el presupuesto es limitado.

Materiales superduros: adecuados para mecanizado de ultra alta velocidad y precisión (aleaciones de alta temperatura, cerámicas, materiales compuestos), como piezas aeroespaciales y automotrices, que requieren alta precisión y larga vida útil.

Ejemplo:

Mecanizado de fundición: herramienta de carburo (YG6), velocidad 150 m/min, vida útil 23 horas.

Procesamiento de aleación de aluminio: broca de acero de alta velocidad (M2), velocidad 50 m/min, bajo costo.

Procesamiento de aleación de titanio: hoja CBN, velocidad 800 m/min, vida útil 10 horas.

En conclusión

El carburo cementado, el acero de alta velocidad y los materiales superduros tienen sus propias ventajas y son adecuados para diferentes escenarios de procesamiento:

Metal duro /carburo cementado: alta dureza, resistencia al desgaste, adecuado para corte a velocidad media y alta , alto rendimiento en relación costo-beneficio y es el pilar de la industria.

Acero de alta velocidad (HSS): alta tenacidad, bajo costo, adecuado para mecanizado de baja velocidad y herramientas complejas, pero poca resistencia al calor.

Materiales superduros (PCD/CBN): dureza y vida útil extremadamente altas, adecuados para mecanizado de precisión y alta velocidad, pero alto costo y alta fragilidad.

La selección debe basarse en el material de procesamiento (acero, aluminio, cerámica), la velocidad de corte, los requisitos de precisión y el presupuesto. El carburo es una opción general, el acero de alta velocidad es adecuado para aplicaciones de bajo costo y los materiales superduros para necesidades de alta gama.

Datos de referencia:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

Dureza: carburo cementado 14002200 HV, acero de alta velocidad 700850 HV, materiales superduros 400010000 HV (ScienceDirect, 2020).

Norma: ISO 3326, ASTM B886, GB/T 3849 (prueba de saturación magnética de aleación dura).

Mercado: El carburo representa aproximadamente el 50% del mercado de herramientas y los materiales superduros representan aproximadamente el 10% (Sandvik, 2023).

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com



Un apéndice:

¿Qué es el carburo de tungsteno?

1. ¿Qué es el acero de tungsteno?

El acero de tungsteno es un acero de alta aleación cuyo principal elemento de aleación es el tungsteno (W). Su contenido de tungsteno suele ser del 3 al 18 % (fracción másica), complementado con carbono (C, 0,5-1,5 %), cromo (Cr, 1-5 %), molibdeno (Mo, 0,5-5 %), vanadio (V, 0,5-2 %) y otros elementos. Es una aleación metálica que se obtiene mediante fundición, forjado, laminado y tratamiento térmico. Se caracteriza por su alta dureza (HV 600-1000), excelente resistencia al desgaste, buena dureza en rojo (mantiene la dureza a alta temperatura, $\leq 700^{\circ}\text{C}$) y alta tenacidad (K_{Ic} 20-50 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), y se utiliza ampliamente en herramientas de corte, moldes, cuchillos, piezas resistentes al desgaste y campos militares.

Acero de tungsteno y carburo cementado

El carburo cementado es un material compuesto hecho de carburos como el carburo de tungsteno (WC) como matriz, unido con cobalto (Co) o níquel (Ni) mediante un proceso de pulvimetalurgia. Presenta mayor dureza (HV1000–1800), pero menor tenacidad. El acero de tungsteno es una aleación metálica homogénea. El tungsteno se encuentra en la matriz de hierro (Fe) en forma de solución sólida o carburo (como WC, W_2C). Presenta mayor tenacidad y maquinabilidad, y su costo es aproximadamente un tercio del del carburo cementado. El acero de tungsteno también se considera a menudo una subcategoría del acero de alta velocidad (HSS), pero su contenido de tungsteno y rendimiento son más amplios.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Según las previsiones de mercado para 2025, el mercado del acero de tungsteno alcanzará un valor aproximado de 22 000 millones de RMB, lo que representa el 16 % del mercado del acero aleado, con una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) de aproximadamente el 5,2 %. Los principales factores impulsores incluyen el crecimiento de la demanda de fabricación industrial, moldes para automóviles, equipos de nuevas energías y bisturíes médicos.

2. Tipos y características del acero de tungsteno

El acero de tungsteno se puede dividir en varios tipos según su contenido de tungsteno, elementos de aleación y aplicación. Cada tipo está optimizado para un rendimiento específico. A continuación, se presentan los principales tipos y sus características, organizados en una tabla para una presentación clara:

Tipo de acero de tungsteno	Calificaciones típicas	Ingredientes principales	Dureza (HV)	Tenacidad (K _{IC} , MPa ^{1/2})	Dureza del rojo (°C)	Resistencia a la abrasión (ASTM G65, mm ³)	Aplicaciones típicas
Acero de tungsteno de alta velocidad	T1, M2, M35	W 6–12%, Cr 3–5%, V 1–2%, Mo 0,5–5%, C 0,7–1,2%	800–900	25–40	≤650	20–40	Herramientas de corte (como fresas, brocas)
Molde de acero de tungsteno	D2, A2, H13	W 5–10%, Cr 4–6%, Mo 1–3%, C 1–1,5%	700–850	30–50	≤600	30–50	Matriz de estampación en frío, matriz de forja en caliente
Acero de tungsteno superduro	PM-M4, ASP23	W 9–18%, Cr 3–5%, V 1–3%, C 0,8–1,3%	900–1000	20–30	≤700	<30	Herramientas de alta precisión, moldes complejos
Acero de tungsteno resistente a la corrosión	440C, acero de tungsteno médico	W 5–10 %, Cr 10–15 %, Ni 1–3 %, C 0,5–1 %	700–850	25–40	≤600	30–50	Cuchillos médicos, equipos químicos
Acero de tungsteno militar	Aleación de núcleo perforante	W 10–18%, Cr 3–5%, Mo 1–5%, C 0,8–1,2%	800–950	20–35	≤650	20–40	Núcleos perforantes, piezas de armadura
Acero de tungsteno para pulvimetalurgia	ASP60, Vanadis 4 Extra	W 6–12%, Cr 3–5%, V 1–3%, C 0,7–1,2%	900–1000	25–35	≤700	<30	Herramientas de corte de alta gama,

								moldes de precisión.
--	--	--	--	--	--	--	--	-------------------------

ilustrar:

Ingredientes principales: Enumere el rango de contenido de tungsteno (W) y otros elementos de aleación clave (Cr, Mo, V, C).

Parámetros de rendimiento: dureza (dureza Vickers HV), tenacidad (tenacidad a la fractura K_{IC}), dureza en rojo (temperatura de mantenimiento de la dureza a alta temperatura), resistencia al desgaste (volumen de desgaste ASTM G65).

Aplicaciones típicas: herramientas de corte, moldes, cuchillas, piezas resistentes al desgaste e industria militar. Solo se conservan las descripciones en chino.

3. Composición química y microestructura del acero de tungsteno.

3.1 Composición química

Las composiciones típicas del acero de tungsteno incluyen:

Tungsteno (W): 3–18%, existe en forma de solución sólida o carburo (como WC, W₂C), mejora la dureza y la dureza al rojo.

Carbono (C): 0,5–1,5%, forma carburos (WC, Cr₃C₂), mejorando la resistencia al desgaste.

Cromo (Cr): 1–15%, mejora la resistencia a la corrosión y a la oxidación.

Molibdeno (Mo): 0,5–5%, mejora la resistencia a altas temperaturas.

Vanadio (V): 0,5–2%, refina los granos (tamaño 5–20 μm) y mejora la tenacidad.

Hierro (Fe): Matriz, 60–80%, proporciona tenacidad y maquinabilidad.

Otros: Co, Ni (en acero de tungsteno médico) mejoran la tenacidad y la resistencia a la corrosión.

3.2 Microestructura

Matriz: Después del temple, es martensita (dureza HV400-600), y después del revenido, es martensita revenida + austenita residual, y la tenacidad aumenta en un 10-20%.

Fase de carburo: partículas WC, W₂C, Cr₃C₂ (1–10 μm), dureza HV1500–2000, fracción de volumen 5–15%.

Estructura cristalina: la martensita es cúbica centrada en el cuerpo (BCC) y el carburo es un sistema cristalino hexagonal (WC) u ortorrómbico (Cr₃C₂).

Caracterización: La difracción de rayos X (DRX) mostró los planos cristalinos (111) y (200) de WC, y la microscopía electrónica de barrido (MEB) observó la uniformidad de la distribución de carburos (segregación <5%).

La microestructura se optimiza mediante el tratamiento térmico: el temple (850–950 °C) forma martensita dura, el revenido (200–600 °C) alivia las tensiones y la precipitación de carburo refuerza la matriz.

4. Historia del desarrollo del acero de tungsteno

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

El desarrollo del acero de tungsteno está estrechamente relacionado con la revolución industrial y la manufactura moderna. Los siguientes son hitos clave:

Finales del siglo XIX (década de 1860-1890)

Antecedentes: La Revolución Industrial requirió materiales para herramientas altamente resistentes al desgaste, pero los primeros aceros para herramientas no eran lo suficientemente duros (HV200–300).

Gran avance: En 1868, el metalúrgico británico Robert Mushet añadió por primera vez tungsteno al acero y desarrolló un "acero autoendurecible" (Mushet Steel) que contenía entre un 2 y un 3 % de tungsteno, con una dureza de HV400 y una resistencia al desgaste el doble, para su uso en herramientas de torno.

Limitaciones: Bajo contenido de tungsteno, dureza al rojo insuficiente ($<400^{\circ}\text{C}$).

Principios del siglo XX (década de 1900-1920)

El nacimiento del acero de alta velocidad: En 1900, Taylor y White de los Estados Unidos desarrollaron el acero de alta velocidad (T1) que contenía un 7% de tungsteno, con una dureza de HV600–700, dureza al rojo $\leq 600^{\circ}\text{C}$ y una velocidad de corte aumentada en 3 veces, sentando las bases para el acero de tungsteno.

Aplicación industrial: En la década de 1910, las herramientas de corte de acero de tungsteno se utilizaron ampliamente en la fabricación de automóviles (como la línea de producción del Ford Modelo T), aumentando la eficiencia en un 50%.

Eventos clave: 1914-1918, Primera Guerra Mundial, la demanda impulsa la minería de tungsteno (China, Portugal), los precios del tungsteno suben a \$ 10 / kg.

Mediados del siglo XX (décadas de 1930 a 1960)

Optimización de la aleación: En la década de 1930, se agregaron Cr, Mo y V para desarrollar grados como M2 (6 % P) y D2 (8 % P), con una dureza de HV700-850 y una tenacidad aumentada en un 20 %.

Tecnología de tratamiento térmico: En la década de 1940, el proceso de temple + revenido en múltiples etapas estaba maduro, reduciendo la tensión interna en un 30% y extendiendo la vida útil del molde en 2 veces.

Aplicación militar: Durante la Segunda Guerra Mundial, el acero de tungsteno se utilizó en núcleos de balas perforantes (que contenían un 12 % de W), aumentando la penetración en un 30 %.

Metalurgia de polvos: En la década de 1960, el tamaño de grano del acero de tungsteno de metalurgia de polvos (como PM-M4) se refinó a $<10\text{ }\mu\text{m}$, la dureza fue HV900 y la resistencia al desgaste se incrementó en un 40%.

Finales del siglo XX (décadas de 1970 y 1990)

de TiN y TiAlN depositados mediante PVD/CVD (espesor de 2 a 5 μm) redujeron el coeficiente de fricción a $<0,4$ y prolongaron la vida útil de la herramienta de 3 a 5 veces.

Acero de tungsteno superduro: década de 1990, ASP23, ASP60 y otros grados con dureza HV950-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1000, desafiando el mercado de gama baja del carburo cementado.

Campo médico: El acero de tungsteno médico que contiene entre un 6 y un 8 % de tungsteno se utiliza en cuchillos quirúrgicos y su resistencia a la corrosión aumenta en un 50 %.

Siglo XXI (década de 2000-2025)

Nano-refuerzo: En la década de 2010, el acero de tungsteno reforzado con nanocarburo (<0,5 μm) tiene una dureza cercana a HV1000 y la resistencia al desgaste aumentó en un 30%.

Fabricación ecológica: en la década de 2020, el reciclaje de acero de tungsteno (tasa de reciclaje > 85%) reducirá los costos en un 20% y la huella de carbono en un 30%.

Aplicaciones emergentes: Para 2025, aumentará la demanda de acero de tungsteno en moldes para vehículos de nuevas energías (vida útil extendida en un 40 %), engranajes de energía eólica (resistencia al desgaste aumentada al doble) y perforación geotérmica (resistencia a altas temperaturas > 600 °C).

Inteligencia: La IA optimiza los parámetros del tratamiento térmico (error <3%), aumentando la eficiencia de producción en un 25%.

5. Usos del acero de tungsteno

El acero de tungsteno se utiliza ampliamente en los siguientes campos debido a su alta dureza, dureza al rojo y tenacidad. Los usos y casos específicos se presentan en la tabla:

usar	Productos típicos	Marca	Dureza (HV)	Rendimiento clave	Aplicaciones típicas	Caso
Herramientas de corte	Fresa, broca	M2	850	Dureza en rojo ≤650 °C, volumen de desgaste 20–40 mm³	Procesamiento de acero y aleación de aluminio de aviación, aleaciones de aluminio	Fresa Sandvik M2, procesamiento de eficiencia aumentada en un 25%, el costo es 40% de carburo cementado
Fabricación de moldes	Matriz de estampación en frío, matriz de forja en caliente	D2	800	Vida útil 1,5 millones de veces	Estampado de piezas de automóvil	Punzón Zhuzhou Diamond D2, para estampar placas de acero, con una vida útil de 1,5 millones de veces.
Cuchillos y herramientas de corte	Bisturí, tijeras	440 °C	900	Resistencia a la corrosión (pérdida de peso <0,2 mg/cm²)	Cirugía ortopédica, corte industrial	Bisturí de acero Aichi, precisión de corte ±0,005 mm, resistencia a la corrosión aumentada en un 50 %.
Piezas resistentes al desgaste	Eje de bomba, manguito de cojinete	Aleación que contiene 8%W	750	Desgaste <50 mm³	Ingeniería marina, equipos químicos	Primer eje de bomba de industrias pesadas de China, resistencia al desgaste duplicada
Militar	Núcleo	Aleación	900	Penetración: 600 mm	Proyectiles	Núcleo M829A4 de EE. UU., penetración

	perforante de blindaje	que contiene 15%W		de blindaje	perforantes, piezas de armadura	aumentada en un 20 %
Nueva Energía	Brocas geotérmicas, engranajes para energía eólica	Aleación que contiene 8%W	850	Resistencia a altas temperaturas >600 °C	Perforación geotérmica, equipos de energía eólica	Broca geotérmica Epiroc, un 15% más eficiente
Fabricación médica y de precisión	Brocas dentales, microfresas	Contiene 6 %W de acero de tungsteno médico	850-900	Precisión ±0,01 mm, resistente a la corrosión	Cirugía dental, mecanizado de precisión	Broca dental de diamante Zhuzhou, resistencia al desgaste aumentada en 3 veces, exportaciones a la UE aumentaron un 25% en 2024

ilustrar:

Aplicación: Abarca herramientas de corte, moldes, herramientas de corte, piezas resistentes al desgaste, industria militar, nueva energía, tratamiento médico y extracción de datos cuantitativos.

Caso: Cada uso corresponde a un caso específico, enumerando datos como mejora del rendimiento y comparación de costos, y conservando únicamente las descripciones en chino.

6. Similitudes y diferencias entre el acero de tungsteno y el acero de alta velocidad

El acero de tungsteno y el acero de alta velocidad se superponen en composición y aplicación, pero presentan diferencias significativas. La siguiente tabla compara sus similitudes y diferencias:

característica	acero de tungsteno	Acero de alta velocidad (HSS)
definición	Una amplia gama de aceros de alta aleación que contienen entre un 3 y un 18 % de tungsteno y que cubren una amplia gama de usos.	Una subcategoría de acero de tungsteno, que contiene entre un 6 y un 12 % de tungsteno, diseñada para corte a alta velocidad.
Calificaciones típicas	D2, H13, 440C, PM-M4	T1, M2, M35, M42
Ingredientes principales	W 3-18%, Cr 1-15%, Mo 0,5-5%, V 0,5-2%, C 0,5-1,5%	W 6-12%, Cr 3-5%, Mo 0,5-5%, V 1-2%, C 0,7-1,2%
Dureza (HV)	600-1000	800-900
Tenacidad (K _{1c} , MPa · m ^{1/2})	20-50	25-40
Dureza del rojo (°C)	≤700	≤650
Resistencia a la corrosión	Algunos grados son excelentes (como 440C, pérdida de peso por niebla salina <0,2 mg/cm²)	General (bajo contenido de Cr)
Proceso de fabricación	Fusión, forja, tratamiento térmico; algo de pulvimetalurgia.	Fusión, forja, tratamiento térmico
Costo (USD/kg)	10-50	15-30

Aplicaciones típicas	Herramientas de corte, moldes, piezas resistentes al desgaste, industria militar, médica.	Herramientas de corte (como taladros, fresas)
----------------------	---	---

ilustrar:

Similitudes: Ambos son aceros de alta aleación que contienen tungsteno, Cr, Mo, V, etc., mediante procesos de fundición y tratamiento térmico, aptos para corte y moldes.

Diferencias: El acero de tungsteno tiene una gama más amplia (incluido el acero de alta velocidad, el acero para matrices, etc.) y aplicaciones diversificadas; el acero de alta velocidad está optimizado para el corte a alta velocidad y su dureza al rojo y su resistencia a la corrosión son ligeramente inferiores.

Comparación de casos:

Acero de alta velocidad: Broca M2 (6%W), dureza HV850, para procesar acero con bajo contenido de carbono, con una vida útil 5 veces mayor que la del acero común.

Acero de tungsteno: matriz D2 (8 % W), dureza HV800, estampación en acero inoxidable, vida útil de hasta 1 millón de veces.

7. Similitudes y diferencias entre el acero de tungsteno y el carburo cementado

Tanto el acero de tungsteno como el carburo cementado utilizan el tungsteno como elemento clave, pero sus propiedades y aplicaciones son significativamente diferentes. La siguiente tabla compara sus similitudes y diferencias:

característica	acero de tungsteno	carburo cementado
definición	Acero de alta aleación, que contiene entre un 3 y un 18 % de tungsteno, aleación metálica homogénea	Compuestos a base de carburo, que contienen entre un 70 % y un 94 % de WC, etc. + Co/Ni
Ingredientes principales	W 3–18%, Cr 1–15%, Mo 0,5–5%, V 0,5–2%, C 0,5–1,5%, base de Fe	WC, TiC , TaC (70–94%), Co/Ni (6–20%)
estructura	Partículas de martensita + carburo (WC, Cr3C2)	Partículas de carburo + fase aglutinante
Dureza (HV)	600–1000	1000–1800
Tenacidad (K _{IC} , MPa ·m ^{1/2})	20–50	8–20
Dureza del rojo (°C)	≤700	≤1000
Resistencia a la corrosión	Algunos grados son excelentes (como 440C, pérdida de peso por niebla salina <0,2 mg/cm²)	A base de níquel (como YN8, pérdida de peso <0,1 mg/cm²)
Densidad (g/cm³)	7.8–8.5	12–15.6
Proceso de fabricación	Fusión, forja, tratamiento térmico; algo de pulvimetalurgia.	Metalurgia de polvos (mezcla, prensado, sinterización)
Costo (USD/kg)	10–50	50–150
Aplicaciones típicas	Herramientas de corte, moldes, engranajes militares, médicos y de energía eólica.	Herramientas de alta precisión, picos de minería, materiales de pulverización.

ilustrar:

Similitudes: Ambos contienen tungsteno y tienen mejor dureza y resistencia al desgaste que el acero

común, lo que los hace adecuados para cuchillos y piezas resistentes al desgaste.

Diferencias: El acero de tungsteno es una aleación de metal con alta tenacidad y bajo costo; el carburo cementado es un material compuesto con alta dureza pero también alta fragilidad.

Comparación de casos:

Acero de tungsteno: fresa M2 (6%W), dureza HV850, procesamiento de aleación de aluminio, el costo es 40% de carburo cementado.

Carburo: Hoja YG6 (base WC, 6% Co), dureza HV1500, procesamiento de acero inoxidable, la vida útil es 3 veces mayor que la del acero de tungsteno.

8. Proceso de fabricación del acero de tungsteno

El acero de tungsteno se prepara mediante un proceso metalúrgico tradicional, el flujo del proceso es el siguiente:

Preparación de materias primas:

Tungsteno: Se añade en forma de ferrotungsteno (FeW , que contiene 70–80% W) o polvo de tungsteno, con una pureza de $>99,5\%$.

Otros elementos: Cr, Mo, V en forma de ferroaleación, C añadido en forma de grafito.

Mezcla: El horno de fusión al vacío garantiza la homogeneidad de la composición (desviación $< 0,5\%$).

Fundición:

Equipo: Horno de arco eléctrico o horno de inducción de media frecuencia, temperatura de fusión 1500–1600°C.

Proceso: desoxidación y desulfuración, controlar el contenido de oxígeno a <50 ppm y el contenido de azufre a $<0,02\%$.

Fundición y conformación:

Colada continua: formación de lingotes con desviación dimensional $<1\%$.

Forjado/laminado en caliente: 1000–1200 °C, refinamiento de grano a 5–20 μm , aumento de resistencia del 15 %.

Tratamiento térmico:

Temple: 850–950°C, enfriamiento agua/aceite, formación de martensita, dureza HV800–1000.

Revenido: 200–600 °C, revenido en múltiples etapas, tenacidad aumentada en un 20%, tensión interna reducida en un 30%.

Recocido: 700–800 °C (para acero para matrices) para mejorar la procesabilidad.

Tratamiento de superficie:

Carburación/nitruración: la dureza de la superficie aumenta a HV1000 y la resistencia al desgaste aumenta en un 30%.

Recubrimiento PVD/CVD: TiN , TiAlN , CrN (espesor 2–5 μm), coeficiente de fricción $<0,4$, vida

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

útil 3 veces mayor.

Acero de tungsteno para pulvimetalurgia

Proceso: Polvo crudo (tamaño de partícula 1–10 μm) → prensado → sinterización (1400–1500 °C) → prensado isostático en caliente (HIP).

Ventajas: Tamaño de grano uniforme ($<10\ \mu\text{m}$), dureza HV900–1000 y resistencia al desgaste aumentada en un 40 %.

9. Estándares de acero de tungsteno en China, Estados Unidos, a nivel internacional y en todo el mundo.

Como acero de alta aleación, el rendimiento y la aplicación del acero de tungsteno están estrictamente regulados por las normas establecidas por diversos países y organizaciones internacionales de normalización. Estas normas especifican la composición química, las propiedades mecánicas, el proceso de tratamiento térmico y los métodos de ensayo del acero de tungsteno para garantizar la calidad y la consistencia del producto en el comercio transfronterizo. A continuación, se detallan las normas relevantes para el acero de tungsteno desde la perspectiva de China, Estados Unidos, la Organización Internacional (ISO) y otros países (Japón, la Unión Europea, Australia, etc.), y se comparan las principales normas mediante tablas.

9.1 Normas chinas

Las normas de acero de tungsteno de China son formuladas por la Administración Nacional de Normalización (SAC) y el Sistema Nacional de Normalización de China (GB/T), y abarcan el acero de alta velocidad, el acero para matrices y el acero de aleación especial. Dado que China es el mayor productor mundial de tungsteno (67.000 toneladas de metal en 2024, lo que representa el 83 % del mercado mundial), sus normas tienen una influencia significativa en el mercado mundial del acero de tungsteno.

Principales estándares del acero de tungsteno en China:

GB/T 9943-2008: Acero para herramientas de alta velocidad

Se especifican la composición química (por ejemplo, W 6–18 %), la dureza (HV800–900) y el proceso de tratamiento térmico de grados como T1 (W18Cr4V) y M2 (W6Mo5Cr4V2).

GB/T 1299-2014: Acero para herramientas de aleación

Cubre aceros para matrices como D2 (Cr12Mo1V1, que contiene 8 % W) con resistencia a la tracción especificada ($>1500\ \text{MPa}$) y resistencia al desgaste (volumen de desgaste ASTM G65 $<50\ \text{mm}^3$).

GB/T 20878-2007: Acero inoxidable y acero resistente al calor

El acero de tungsteno médico estándar (como el 440C, que contiene entre un 5 % y un 10 % W)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

requiere resistencia a la corrosión (pérdida de peso por niebla salina $<0,2 \text{ mg/cm}^2$).

Características: Énfasis en alta dureza y resistencia al desgaste, adaptado a las necesidades de la industria manufacturera de China (como moldes automotrices, perforación geotérmica).

Incorporar normas ISO (como ISO 4957) para garantizar la conformidad de los productos de exportación.

recursos de tungsteno a través de cuotas de extracción de tungsteno (13.582 toneladas de cuota de exportación en 2024) y aranceles de exportación (arancel del 10% en Estados Unidos en febrero de 2025), lo que afecta la cadena de suministro global.

9.2 Normas americanas

Las normas estadounidenses para el acero de tungsteno son formuladas principalmente por ASTM International y AISI (Instituto Americano del Hierro y el Acero) y se utilizan ampliamente en Norteamérica y el mercado global. Las normas ASTM gozan de gran reconocimiento por su rigor e internacionalización (12 575 normas, adoptadas por más de 140 países).

Principales normas de los estándares americanos de acero de tungsteno:

ASTM A600-92a (2021): Acero para herramientas de alta velocidad

Estandarizar grados como T1 y M2, especificar contenido de W (6–18%), dureza (HV800–900) y dureza en rojo ($\leq 650 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

ASTM A681-08 (2022): Acero de aleación para herramientas

Cubre aceros para moldes como D2 y H13, que requieren tenacidad (K_{IC} 30–50 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) y resistencia al desgaste (pérdida por desgaste $<50 \text{ mm}^3$).

ASTM A276/A276M-23: Barras y formas de acero inoxidable

Especificación de acero de tungsteno médico que contiene W (como 440C), que requiere resistencia a la corrosión y precisión ($\pm 0,01 \text{ mm}$).

Características: Énfasis en pruebas de desempeño mecánico (como resistencia a la tracción ASTM E8, resistencia a la abrasión ASTM G65) para garantizar la consistencia del producto.

A menudo se cita en las regulaciones federales de EE. UU. (como la Ley Nacional de Transferencia y Promoción de Tecnología de 1995) y se convierte en una norma obligatoria.

Aplicación: Las normas ASTM se utilizan ampliamente en la industria militar de EE. UU. (como el núcleo del proyectil perforante M829A4) y en la fabricación de aviación (fresa Sandvik M2).

9.3 Normas internacionales (ISO)

La Organización Internacional de Normalización (ISO) desarrolla normas globales para el acero de tungsteno, coordina las normas nacionales y promueve el comercio y los intercambios técnicos. China, Estados Unidos, Japón, etc., son miembros de la ISO, y China participa en sus actividades

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

desde 1947.

Criterios principales:

ISO 4957:2018: Aceros para herramientas, especificación para aceros de alta velocidad (como T1, M2) y aceros para matrices (como D2)

Se especifican el contenido de W (3–18%), la dureza (HV600–1000) y el proceso de tratamiento térmico.

ISO 683-17:2023: Acero tratado térmicamente, acero aleado y acero inoxidable

Cubre aceros de tungsteno médicos que contienen W (por ejemplo, 440C) donde se requiere resistencia a la corrosión y biocompatibilidad (de acuerdo con ISO 10993).

ISO 513:2012: Clasificación de herramientas de corte de carburo cementado y acero de alta velocidad

Definir las propiedades de las herramientas de corte de acero de tungsteno (como dureza al rojo $\leq 700^{\circ}\text{C}$).

Características: Proporciona un marco común que permite a los países desarrollar normas locales dentro del alcance de la ISO (como GB/T en referencia a la ISO 4957).

Haciendo hincapié en el reconocimiento mutuo transfronterizo, en 2022 la ISO y el Comité Europeo de Normalización (CEN) renovaron su acuerdo de cooperación técnica para ampliar la aplicación de las normas de carburo de tungsteno.

Aplicación: Las normas ISO se utilizan ampliamente en la fabricación global de herramientas de corte (herramientas de corte Kennametal M2), moldes y equipos de nueva energía.

9.4 Otras normas en el mundo

Las normas de acero de tungsteno en otros países (como Japón, la Unión Europea, Australia y África) tienen sus propias características, que reflejan las necesidades regionales y los antecedentes industriales:

Japón (JIS)

JIS G 4403:2021: Acero para herramientas de alta velocidad

Las especificaciones para SKH2 (T1) y SKH51 (M2) requieren W 6–18% y dureza HV800–900, que son adecuadas para herramientas de corte en áreas propensas a terremotos.

Características: Se centra en la resistencia a los impactos y la alta precisión. En 2025, JIS planea actualizar la norma G4403 e incorporar las normas de acero de tungsteno para uso médico.

Aplicación: Cuchillo quirúrgico de acero Aichi, conforme a JIS G4404 (acero inoxidable).

Unión Europea (EN):

EN ISO 4957:2018: Sincronizado con ISO

Especificaciones 1.2080 (D2), 1.2379 (incluido acero para matriz W), requisitos de resistencia al

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com

desgaste (desgaste <50 mm³) y certificación CE.

Características: Énfasis en la protección ambiental y la resistencia a la corrosión. En 2025, la UE planea revisar la norma EN 10083 e incorporar una nueva norma para aceros militares con contenido de W.

Aplicación: Herramienta Bohler ASP60 según EN ISO 4957.

Australia (AS/NZS):

AS 1444:2007: Acero aleado

La especificación especifica acero para herramientas que contiene W con una dureza de HV600–900, adecuado para equipos de minería.

Características: Con referencia a ISO y ASTM, se planea actualizar AS 1444 en 2025 para agregar estándares de acero de tungsteno para nuevos engranajes de energía.

África:

SANS 50025 (Sudáfrica) e ISO 10721

Especificación para aceros estructurales y para herramientas, incluidos los aceros que contienen W para uso en minería y perforación geotérmica.

Características: Debido a la falta de normas unificadas, África adopta mayoritariamente la ISO. En 2025, la Unión Africana planea implementar normas regionales para el acero de tungsteno.

9.5 Comparación estándar

La siguiente tabla compara los estándares de acero de tungsteno de China, Estados Unidos, ISO y los principales países, destacando las diferencias en grados, composición y aplicación:

Organizaciones de normalización	Estándar representativo	Calificaciones típicas	Contenido de tungsteno (%)	Dureza (HV)	Requisitos clave	Aplicaciones típicas
China GB/T	GB/T 9943-2008	T1 (W18Cr4V), M2 (W6Mo5Cr4V2)	6–18	800–900	Dureza al rojo ≤650 °C, volumen de desgaste <40 mm ³	Herramientas de corte, moldes
ASTM	ASTM A600-92a	T1, M2, D2	6–18	800–900	Tenacidad K _{IC} 25–50 MPa·m ^{1/2} , resistencia a la tracción ASTM E8	Cuchillos militares
ISO internacional	ISO 4957:2018	T1, M2, D2	3–18	600–1000	Proceso de tratamiento térmico, resistencia a la corrosión.	Herramientas de corte y moldes globales
Japón JIS	Norma G4403:2021	JIS SKH2 (T1), SKH51 (M2)	6–18	800–900	Resistencia a los golpes, precisión ±0,01 mm	Cuchillos médicos y herramientas

						de corte
UE EN	EN ISO 4957:2018	1.2080 (D2), 1.2379	5–10	700–850	Certificado CE, resistencia a la abrasión <50 mm³	Moldes y herramientas de corte
Australia AS/NZS	AS 1444:2007	Acero para herramientas que contiene W	3–10	600–900	Resistencia al desgaste en minería	Equipos de minería, brocas geotérmicas

Gama estándar: China GB/T y US ASTM enfatizan la dureza y la resistencia al desgaste, ISO proporciona un marco general, Japón JIS se centra en la resistencia a los golpes y la precisión, y EU EN requiere certificación ambiental.

Reconocimiento mutuo: ISO 4957 es la norma de referencia mundial. GB/T 9943, ASTM A600 y JIS G4403 se basan en la norma ISO para garantizar la coherencia en el comercio transfronterizo.

9.6 Aplicación estándar y desafíos

solicitud:

China: GB/T 9943 regula las herramientas de corte Zhuzhou Diamond M2, y las exportaciones a la UE deben cumplir con la norma ISO 4957.

EE. UU.: ASTM A600 garantiza la calidad de las fresas Sandvik M2, y los estándares militares (como MIL-STD) requieren una mayor penetración.

Internacional: la norma ISO 4957 armoniza la producción global de herramientas de Kennametal y reduce las barreras comerciales.

desafío:

Diferencias estándar: El rango de composición (por ejemplo, C 0,5–1,5 %) y los métodos de prueba (ASTM E8 frente a ISO 6892) de diferentes países no son completamente consistentes, lo que aumenta el coste de la certificación transfronteriza.

Retraso en la actualización: el desarrollo de normas para nuevos materiales, como el acero de tungsteno de metalurgia de polvos (PM-M4), es lento y es necesario acelerar las revisiones en 2025.

10. Tendencias futuras del carburo de tungsteno

Acero de tungsteno superduro: contiene entre un 12 y un 18 % de tungsteno, con una dureza de HV950 a 1000, que reemplaza al carburo cementado de gama baja y se espera que su participación de mercado aumente al 20 %.

Tecnología de recubrimiento: El recubrimiento nanocompuesto (como TiSiN) tiene un coeficiente de fricción de <0,3 y extiende la vida útil de la herramienta 5 veces.

Fabricación ecológica: tasa de reciclaje >90%, huella de carbono reducida a 15 kg de CO2/ kg, coste reducido en un 25%.

Inteligencia: La IA optimiza los procesos de tratamiento térmico y recubrimiento, con un error de parámetros inferior al 2% y una eficiencia aumentada en un 30%.

Aplicaciones emergentes:

Nuevas energías: engranajes para energía eólica (resistencia al desgaste aumentada al doble),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

moldes para vehículos eléctricos (vida útil prolongada al 40%).

Médico: Herramientas de corte de acero de tungsteno micro, precisión $\pm 0,005$ mm, crecimiento de la demanda del 15 %/año.

Geotérmico/aguas profundas: Broca de acero de tungsteno resistente a altas temperaturas y corrosión, eficiencia aumentada en un 20%.

11. Limitaciones y desafíos del carburo de tungsteno

Límite de dureza: HV600–1000, inferior al carburo cementado (HV1000–1800), no adecuado para desgaste por carga ultra alta.

Resistencia a la corrosión: El contenido de Cr es limitado y la resistencia a los ácidos ($\text{pH} < 4$) no es tan buena como la del carburo cementado a base de Ni (YN8).

Rendimiento a alta temperatura: Dureza roja ≤ 700 °C, inferior a la del carburo cementado (≤ 1000 °C), lo que limita el corte a alta temperatura.

Dependencia de recursos: las fluctuaciones del precio del tungsteno (reservas mundiales de 3,4 millones de toneladas, 70% en China) (20–30 dólares/kg) afectan los costos.

Dificultad de procesamiento: después del temple, la dureza es alta y se requiere pulido con diamante, y el costo de procesamiento representa el 20-30%.

12. Conclusión

Como acero de alta aleación, el acero de tungsteno desempeña un papel importante en herramientas de corte, moldes, piezas resistentes al desgaste, la industria militar y los nuevos sectores energéticos gracias a su alta dureza, resistencia al desgaste, dureza al rojo y tenacidad. Existe en diversos tipos (acero de tungsteno de alta velocidad, acero de tungsteno para moldes, acero de tungsteno superduro, etc.) y su rendimiento se optimiza continuamente mediante tratamiento térmico, recubrimiento y tecnología pulvimetalúrgica. En comparación con el acero de alta velocidad, el acero de tungsteno es más utilizado; en comparación con el carburo cementado, el acero de tungsteno presenta alta tenacidad y bajo coste, pero su dureza y resistencia a altas temperaturas son ligeramente inferiores. China, Estados Unidos, la ISO y otras normas nacionales (como GB/T, ASTM, ISO 4957) regulan la producción de acero de tungsteno para garantizar la calidad y la consistencia comercial. En el futuro, el acero de tungsteno superduro, la fabricación ecológica y los procesos inteligentes promoverán su aplicación en la fabricación de alta precisión y la industria sostenible. A pesar de los desafíos de la dependencia de los recursos, la dificultad de procesamiento y las diferencias en las normas, el acero de tungsteno seguirá siendo un material clave en la era de la Industria 4.0 y las nuevas energías.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

30 years of experience: We are well versed in cemented carbide production and processing , with mature and stable technology and continuous improvement .

Precision customization: Supports special performance and complex design , and focuses on customer + AI collaborative design .

Quality cost: Optimized molds and processing, excellent cost performance; leading equipment, RMI, ISO 9001 certification.

Serving Customers

The products cover cutting, tooling, aviation, energy, electronics and other fields, and have served more than 100,000 customers.

Service Commitment

1+ billion visits, 1+ million web pages, 100,000+ customers, and 0 complaints in 30 years!

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Copyright© 2024 CTIA All Rights Reserved
标准文件版本号 CTIAQCD-MA-E/P 2024 版
www.ctia.com.cn

电话/TEL: 0086 592 512 9696
CTIAQCD-MA-E/P 2018-2024V
sales@chinatungsten.com