

Wolframhartmetall

Umfassende Untersuchung physikalischer und chemischer Eigenschaften, Prozesse und Anwendungen (VI)

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

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

EINFÜHRUNG IN DIE CTIA GROUP

CTIA GROUP LTD, eine hundertprozentige Tochtergesellschaft mit unabhängiger Rechtspersönlichkeit, die von CHINATUNGSTEN ONLINE gegründet wurde, widmet sich der Förderung der intelligenten, integrierten und flexiblen Entwicklung und Herstellung von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets. CHINATUNGSTEN ONLINE, gegründet 1997 mit www.chinatungsten.com als Ausgangspunkt – Chinas erster erstklassiger Website für Wolframprodukte – ist das bahnbrechende E-Commerce-Unternehmen des Landes mit Fokus auf die Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Industrien. CTIA GROUP nutzt fast drei Jahrzehnte umfassende Erfahrung in den Bereichen Wolfram und Molybdän, erbt die außergewöhnlichen Entwicklungs- und Fertigungskapazitäten, die erstklassigen Dienstleistungen und den weltweiten Ruf ihres Mutterunternehmens und wird so zu einem umfassenden Anbieter von Anwendungslösungen in den Bereichen Wolframchemikalien, Wolframmetalle, Hartmetalle, hochdichte Legierungen, Molybdän und Molybdänlegierungen.

In den vergangenen 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE über 200 mehrsprachige professionelle Websites zu den Themen Wolfram und Molybdän in mehr als 20 Sprachen erstellt, die über eine Million Seiten mit Nachrichten, Preisen und Marktanalysen zu Wolfram, Molybdän und Seltenen Erden enthalten. Seit 2013 wurden auf dem offiziellen WeChat-Konto „CHINATUNGSTEN ONLINE“ über 40.000 Informationen veröffentlicht, die fast 100.000 Follower erreichen und täglich Hunderttausenden von Branchenexperten weltweit kostenlose Informationen bieten. Mit Milliarden von Besuchen auf seinem Website-Cluster und seinem offiziellen Konto hat sich das Unternehmen zu einer anerkannten globalen und maßgeblichen Informationsdrehscheibe für die Wolfram-, Molybdän- und Seltene Erden-Branche entwickelt, die rund um die Uhr mehrsprachige Nachrichten, Informationen zu Produktleistung, Marktpreisen und Markttrends bietet.

Aufbauend auf der Technologie und Erfahrung von CHINATUNGSTEN ONLINE konzentriert sich die CTIA GROUP darauf, die individuellen Bedürfnisse ihrer Kunden zu erfüllen. Mithilfe von KI-Technologie entwickelt und produziert sie gemeinsam mit ihren Kunden Wolfram- und Molybdänprodukte mit spezifischen chemischen Zusammensetzungen und physikalischen Eigenschaften (wie Partikelgröße, Dichte, Härte, Festigkeit, Abmessungen und Toleranzen). Das Angebot umfasst integrierte Dienstleistungen für den gesamten Prozess, vom Formenöffnen und der Probeproduktion bis hin zur Veredelung, Verpackung und Logistik. In den letzten 30 Jahren hat CHINATUNGSTEN ONLINE weltweit über 130.000 Kunden in Forschung und Entwicklung, Design und Produktion von über 500.000 Arten von Wolfram- und Molybdänprodukten unterstützt und so den Grundstein für eine maßgeschneiderte, flexible und intelligente Fertigung gelegt. Auf dieser Grundlage vertieft die CTIA GROUP die intelligente Fertigung und integrierte Innovation von Wolfram- und Molybdänmaterialien im Zeitalter des industriellen Internets weiter.

Dr. Hanns und sein Team bei der CTIA GROUP haben auf der Grundlage ihrer über 30-jährigen Branchenerfahrung auch Fachwissen, Technologien, Wolframpreise und Markttrendanalysen in Bezug auf Wolfram, Molybdän und Seltene Erden verfasst und veröffentlicht und geben diese kostenlos an die Wolframbranche weiter. Dr. Han, mit über 30 Jahren Erfahrung seit den 1990er Jahren im E-Commerce und internationalen Handel mit Wolfram- und Molybdänprodukten sowie in der Entwicklung und Herstellung von Hartmetallen und hochdichten Legierungen, ist im In- und Ausland ein renommierter Experte für Wolfram- und Molybdänprodukte. Getreu dem Grundsatz, der Branche professionelle und qualitativ hochwertige Informationen zu liefern, verfasst das Team der CTIA GROUP kontinuierlich technische Forschungsarbeiten, Artikel und Branchenberichte auf Grundlage der Produktionspraxis und der Kundenbedürfnisse und findet dafür breite Anerkennung in der Branche. Diese Erfolge stellen eine solide Unterstützung für die technologische Innovation, die Produktförderung und den Branchenaustausch der CTIA GROUP dar und verhelfen ihr zu einem führenden Unternehmen in der globalen Herstellung von Wolfram- und Molybdänprodukten sowie bei Informationsdienstleistungen.



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

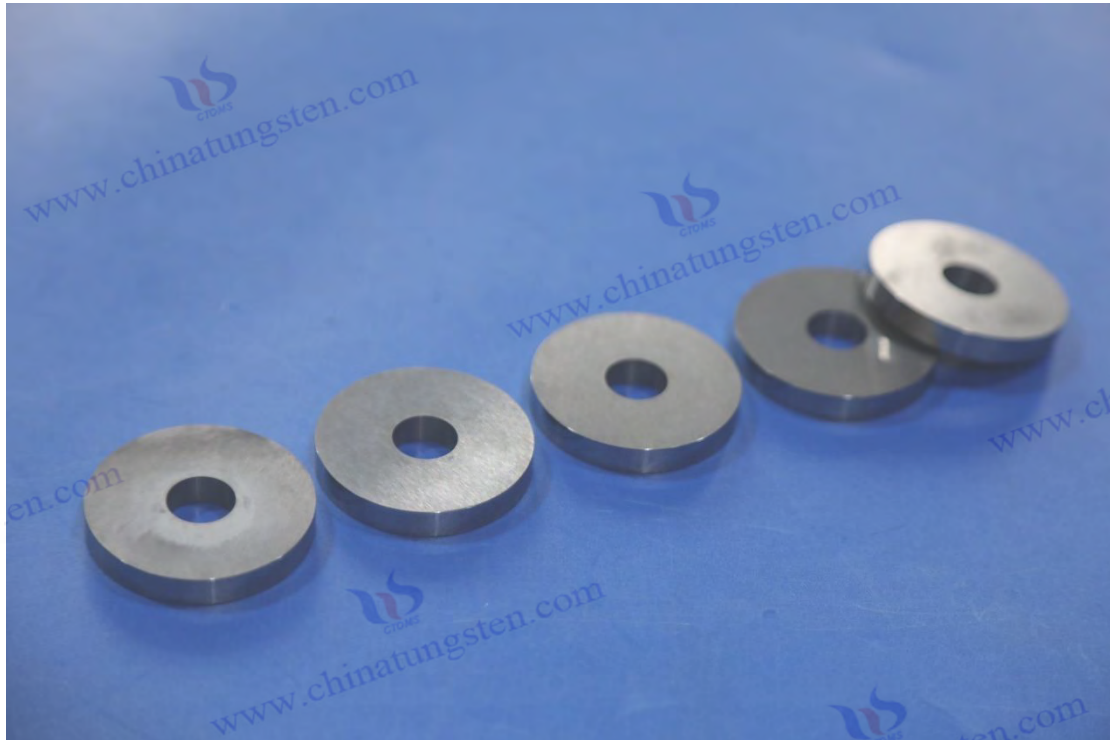
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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



Teil 2: Herstellungsprozess von Hartmetall

Kapitel 6: Beschichtungs- und Verbundtechnologie

Hartlegierungen (WCCo) spielen aufgrund ihrer hervorragenden Härte (HV 1500–2500 ± 30), guten Zähigkeit (K_{Ic} 8–20 MPa·m^{1/2} ± 0,5) und hervorragenden Druckfestigkeit (> 4000 MPa ± 100 MPa) eine wichtige Rolle in der Luft- und Raumfahrt, im Bergbau, in der Energietechnik und in der Tiefseetechnik. Unter extremen Arbeitsbedingungen stellen jedoch hohe Temperaturen (> 1000 °C ± 10 °C), starke Korrosion (pH-Wert < 4 ± 0,1) und hohe Stoßfestigkeit (> 103 Hz ± 100 Hz) höhere Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit, und eine einzelne Hartlegierung kann diese Anforderungen nur schwer vollständig erfüllen.

Beschichtungs- und Verbundtechnologie verbessern die Verschleißfestigkeit (Verschleißrate < 0,06 mm³/ N·m ± 0,01 mm³/ N·m), Korrosionsbeständigkeit (Korrosionsrate < 0,01 mm/Jahr ± 0,002 mm/ Jahr) und Wärmeermüdungsbeständigkeit (Lebensdauer > 10⁵-fach ± 10⁴-fach) durch Oberflächenmodifizierung (Beschichtungsdicke 10–200 µm ± 1 µm) und Strukturoptimierung (Gradientenschicht, Nano-WC < 100 nm ± 5 nm) . Diese Technologien verlängern nicht nur die Lebensdauer von Hartmetall, sondern erweitern auch seinen Anwendungsbereich, beispielsweise bei Turbinenschaufeln für die Luftfahrt (Lebensdauer > 5000 Stunden ± 500 Stunden), Bohrmeißeln für den Bergbau (> 1500 m ± 100 m) und Tiefseeventilen (> 5 Jahre ± 0,5 Jahre).

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Prozesse und technischen Prinzipien aus vier Blickwinkeln erörtert: **Vorbereitung der Hartmetallbeschichtung , Beschichtungsmaterialien, Gradienten- und nanostrukturiertes Hartmetall und Leistungstests für Beschichtungen** . Die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beschichtungsvorbereitung konzentriert sich auf thermische Spritztechnologie (wie HVOF, APS, Detonationsspritzen) und erreicht eine Beschichtung mit hoher Härte (HV 1200–1500±30) durch Optimierung der Spritzparameter (Geschwindigkeit 600–4000 m/s±10 m/s, Temperatur 2000–15000 °C±100°C); die Materialoptimierung umfasst WCCo, WCNiCr und Mehrphasenbeschichtungen (wie WCTiCNi), wobei Härte und Zähigkeit ausgeglichen werden (K_{IC} 10–15 MPa·m^{1/2}±0,5); Gradienten und Nanostruktur verbessern die Gesamtleistung (Festigkeit > 4500 MPa±100 MPa) durch Schnittstellentechnik und Nanokristallverstärkung; Leistungstests bestätigen die Beschichtungszuverlässigkeit gemäß Normen (wie ASTM G65, ISO 6508). Jeder Abschnitt kombiniert Prozessdetails, wissenschaftliche Mechanismen, Optimierungsstrategien und technische Praktiken, um den Kernwert der Beschichtungs- und Verbundtechnologie aufzuzeigen.

Beispielsweise sorgt eine HVOF-Sprühbeschichtung mit WC12Co (Geschwindigkeit 700 m/s ± 10 m/s, Dicke 100 µm ± 1 µm) dafür, dass Turbinenschaufeln in der Luftfahrt in Hochtemperatur-Luftströmen (1000 °C ± 10 °C) einen geringen Verschleiß aufweisen (<0,05 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m) und eine Lebensdauer von über 5000 Stunden ± 500 Stunden erreichen. Gradientes WCCo (Co-Gehalt 5–15 % ± 1 %) verbessert die Schlagfestigkeit von Bohrmeißeln im Bergbau bei Bohrtiefen von 1800 m ± 100 m. Eine Nano-WC-Beschichtung (Korn < 100 nm ± 5 nm) wird für Tiefseeventile verwendet und weist eine Korrosionsbeständigkeit von über 5 Jahren ± 0,5 Jahren auf. Dieses Kapitel schließt durch Prozessparameter und Leistungsdaten nahtlos an Kapitel 5 (Formen und Sintern, WC-Partikelgröße 0,1–10 µm ± 0,01 µm, Dichte > 99,5 % ± 0,1 %) an und legt den Grundstein für die nachfolgenden Kapitel (Anwendung und Optimierung).

6.1 Vorbereitung der Hartmetallbeschichtung

Hartmetallbeschichtungen werden durch thermisches Spritzen, physikalische/chemische Gasphasenabscheidung (PVD/CVD) oder Laserauftragschweißen hergestellt, um Funktionsbeschichtungen (Dicke 10–200 µm ± 1 µm, Härte HV 1200–1500 ± 30) auf Hochleistungssubstraten (Härte HV 1500–2500 ± 30, Oberflächenrauheit Ra < 0,05 µm ± 0,01 µm) abzuscheiden. Diese Beschichtungen verbessern die Verschleißfestigkeit (Verschleißrate < 0,06 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m), Korrosionsbeständigkeit (Korrosionsrate < 0,01 mm/Jahr ± 0,002 mm/Jahr) und Hochtemperaturoxidationsbeständigkeit (Oxidationsgewichtszunahme < 0,1 mg/cm² ± 0,02 mg/cm²) erheblich und erfüllen so die Anforderungen anspruchsvoller Arbeitsbedingungen. Aufgrund ihrer hohen Effizienz (Abscheidungsrate > 90 % ± 2 %), Flexibilität (anwendbare Substratgröße > 100 mm ± 1 mm) und Wirtschaftlichkeit (Kosten < 500 USD/m² ± 50 USD) wird die thermische Spritztechnologie bevorzugt eingesetzt und findet breite Anwendung in der Luftfahrt, im Bergbau und in der Energiebranche.

Dieser Abschnitt erläutert detailliert die drei Haupttechnologien Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzen (HVOF), Plasmaspritzen (APS) und Detonationsspritzen und analysiert deren Prozessprinzipien, Parameteroptimierung und Anwendungsszenarien. Die Beschichtungsqualität hängt von den Spritzparametern (Geschwindigkeit, Temperatur, Spritzabstand), den Pulvereigenschaften (Partikelgröße 10–50 µm ± 1 µm, Fließfähigkeit 12–15 Sekunden/50 g ± 0,5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sekunden) und der Substratvorbehandlung (Rauigkeit $Ra\ 2-5\ \mu m \pm 0,1\ \mu m$) ab. Anhand der Thermofluidmechanik (Strahlgeschwindigkeit $600-4000\ m/s \pm 10\ m/s$) und des Grenzflächenbindungsmechanismus (Bindungsfestigkeit $50-80\ MPa \pm 5\ MPa$) wird die Kerntechnologie erläutert.

Beispielsweise wird eine HVOF-gespritzte WC12Co-Beschichtung (Porosität $<1\ \% \pm 0,2\ \%$) für Flugzeugturbinenschaufeln verwendet und erreicht eine Lebensdauer von über 5000 ± 500 Stunden. Eine APS-gespritzte WCNiCr-Beschichtung (Dicke $150\ \mu m \pm 1\ \mu m$) erhöht die Lebensdauer von Bergbaubohrern auf $1500 \pm 100\ m$. Im Folgenden finden Sie eine umfassende Anleitung zur Herstellung von Hochleistungsbeschichtungen unter Berücksichtigung von Prozessdetails, Einflussfaktoren und technischer Praxis.

6.1.1 Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzen (HVOF, Schichthärte HV 1200-1500)

Prozessprinzip und Technologieübersicht

Das Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzen (HVOF) ist ein hocheffizientes thermisches Spritzverfahren, das durch die Verbrennung von Sauerstoff und Brennstoff einen Hochtemperatur- und Hochgeschwindigkeitsstrahl erzeugt, der Pulverwerkstoffe auf dem Hartmetallsubstrat abscheidet und eine hochharte, verschleißfeste Beschichtung bildet. Kernstück des HVOF ist der Überschallstrahl (Geschwindigkeit $600-800\ m/s \pm 10\ m/s$), der die Pulverpartikel (WCCo, Partikelgröße $10-45\ \mu m \pm 1\ \mu m$) teilweise schmilzt und mit hoher Geschwindigkeit auf das Substrat trifft, wo eine dichte Beschichtung (Porosität $<1\ \% \pm 0,2\ \%$) entsteht.

Im Vergleich zum herkömmlichen Spritzverfahren hat HVOF eine niedrigere Temperatur ($2000-3000\ ^\circ C \pm 50\ ^\circ C$), wodurch die WC-Zersetzung ($<0,5\ \% \pm 0,1\ \%$) wirksam vermieden wird und es sich für die Herstellung von Hochleistungs-Hartmetallbeschichtungen eignet. Die HVOF-Ausrüstung umfasst eine Spritzpistole (Leistung $> 100\ kW \pm 10\ kW$), eine Brennkammer (Druck $5-10\ bar \pm 0,5\ bar$) und eine Lavaldüse (Halsdurchmesser $8-12\ mm \pm 0,1\ mm$). Sauerstoff (Reinheit $> 99,5\ \% \pm 0,1\ \%$, Durchfluss $800-1200\ l/min \pm 10\ l/min$) reagiert in der Brennkammer mit Kraftstoff (z. B. Kerosin, Durchfluss $0,3-0,5\ l/min \pm 0,01\ l/min$) und setzt eine hohe Enthalpie ($> 10\ MJ/kg \pm 0,5\ MJ/kg$) frei.

Der Strahl wird durch die Lavaldüse auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt, wodurch das Pulver auf das Substrat ($Ra\ 2-5\ \mu m \pm 0,1\ \mu m$) trifft und flache Spritzpartikel (Durchmesser $50-100\ \mu m \pm 5\ \mu m$) bildet. Dies gewährleistet eine Haftfestigkeit von $50-80\ MPa \pm 5\ MPa$. Durch diesen Prozess erreicht die Beschichtung eine Härte von $HV\ 1200-1500 \pm 30$, was in der Luftfahrt, im Bergbau und anderen Bereichen weit verbreitet ist.

Prozessparameter und Abscheidungsmechanismus

Die HVOF-Beschichtungsbildung umfasst vier Phasen: Verbrennung, Partikelbeschleunigung,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Schmelzen und Ablagerung:

Verbrennungsstufe

Sauerstoff reagiert mit Brennstoff und erzeugt einen Hochtemperaturstrahl ($3000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Die Temperatur liegt unter dem Zersetzungspunkt von WC ($\sim 3500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$), wodurch der Karbidverlust ($< 0,5\% \pm 0,1\%$) reduziert wird. Die thermische Enthalpie ($> 10\text{ MJ/kg} \pm 0,5\text{ MJ/kg}$) gewährleistet die vollständige Erwärmung der Partikel.

Teilchenbeschleunigung

Das Pulver wird im Strahl beschleunigt (Geschwindigkeit $700\text{ m/s} \pm 10\text{ m/s}$, Verweilzeit $< 1\text{ ms} \pm 0,1\text{ ms}$), die Oberfläche schmilzt (Schmelzrate $70\text{--}90\% \pm 2\%$), der Kern bleibt fest ($< 50\% \pm 5\%$ geschmolzen) und WC-Körner ($0,5\text{--}2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) bleiben erhalten.

Partikelschmelzen und Aufprall

Die halbgeschmolzenen Partikel treffen auf das Substrat und bilden flache Spritzer. Durch mechanische Verzahnung und Spurendiffusion (Tiefe $< 1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) entsteht eine hohe Bindungsstärke ($> 60\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$).

Verfestigung der Beschichtung

Durch schnelles Abkühlen (Rate $> 10^6\text{ K/s} \pm 10^5\text{ K/s}$) entsteht eine dichte Beschichtung (Porosität $< 1\% \pm 0,2\%$) mit einer Härte von HV 1400 $\pm$ 30.

Die Strahldynamik folgt dem Bernoulli-Prinzip (Geschwindigkeit $\sim \sqrt{(2\Delta P/\rho)}$, $\rho \sim 1\text{ kg/m}^3 \pm 0,1\text{ kg/m}^3$), und die Wärmeleitfähigkeit beträgt $10^4\text{ W/m}^2\cdot\text{K} \pm 10^3\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Durch Optimierung der Sprühdistanz ($250\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$) und des Sauerstoffdurchflusses ($1000\text{ l/min} \pm 10\text{ l/min}$) kann die Porosität auf $< 0,8\% \pm 0,1\%$ reduziert werden. Beispielsweise hat die per HVOF gesprühte WC12Co-Beschichtung (Geschwindigkeit $700\text{ m/s} \pm 10\text{ m/s}$, Dicke $100\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$) eine Härte von HV 1400 $\pm$ 30 und eine Porosität von $< 0,8\% \pm 0,1\%$, womit sie den hohen Anforderungen an die Verschleißfestigkeit von Turbinenschaufeln für Flugzeuge gerecht wird.

Analyse der Einflussfaktoren

Die Leistung der Beschichtung wird von vielen Faktoren beeinflusst und muss genau kontrolliert werden:

Sprühgeschwindigkeit

Bei einer Geschwindigkeit von $700\text{ m/s} \pm 10\text{ m/s}$ bildet sich eine dichte Beschichtung (Porosität $< 1\% \pm 0,2\%$). Unterhalb von $600\text{ m/s} \pm 10\text{ m/s}$ haben die Partikel nicht genügend kinetische Energie, und die Porosität steigt auf $> 2\% \pm 0,5\%$. Oberhalb von $800\text{ m/s} \pm 10\text{ m/s}$ brechen die Partikel ($< 5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$), und die Härte nimmt um $3\% \pm 0,5\%$ ab (HV $< 1200 \pm 30$).

Pulverpartikelgröße

$10\text{--}45\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$ gewährleisten Fließfähigkeit ($12\text{--}15\text{ Sekunden/50 g} \pm 0,5\text{ Sekunden}$) und Schmelzrate ($> 80\% \pm 2\%$). Partikelgrößen $< 10\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$ sind flüchtig ($> 5\% \pm 1\%$), Porosität $> 1,5\% \pm 0,2\%$; Partikelgrößen $> 45\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$ sind unzureichend geschmolzen ($< 60\% \pm 2\%$), und die Bindungsfestigkeit sinkt auf $< 40\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$.

Sprühdistanz

$250\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ Gleichgewichtspartikeltemperatur ($\sim 2000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Sprühabstand $< 200\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$, Überhitzung ($> 3000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$) führt zur WC-Zersetzung ($> 1\% \pm 0,2\%$); $> 300\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$, Partikelkühlung ($< 1500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$), Bindungsstärke $< 50\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Matrixrauheit

Ra 2–5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ verbessert die mechanische Verzahnung (Bindungsfestigkeit $> 60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$). Rauheit $< 1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, Bindungsfestigkeit $< 40 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$; $> 8 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ führt zu Spannungskonzentration, Rissrate $> 1 \% \pm 0,2 \%$.

Kraftstoffdurchflussrate

0,4 l/min $\pm 0,01 \text{ l/min}$ liefert stabile Energie ($> 10 \text{ MJ/kg} \pm 0,5 \text{ MJ/kg}$). Durchflussrate $< 0,3 \text{ l/min} \pm 0,01 \text{ l/min}$, Porosität $> 2 \% \pm 0,5 \%$; $> 0,5 \text{ l/min} \pm 0,01 \text{ l/min}$, Oxidationsrate steigt auf $> 0,1 \% \pm 0,02 \%$.

Die Optimierungsstrategie

besteht darin, eine Beschichtung mit hoher Härte (HV 1400 ± 30) und geringer Porosität ($< 0,8 \% \pm 0,1 \%$) zu erhalten. Es wird empfohlen: WC12Co-Pulver mit einer Partikelgröße von 10–30 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ zu verwenden, um eine hohe Fließfähigkeit (12–15 Sekunden/50 g $\pm 0,5$ Sekunden) und Schmelzrate ($> 80 \% \pm 2 \%$) sicherzustellen; die Sprühgeschwindigkeit auf 700 m/s $\pm 10 \text{ m/s}$ und die Sprühdistanz auf 250 mm $\pm 5 \text{ mm}$ zu regeln; die Substratrauheit auf Ra 3 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ zu regeln, um die Bindungsfestigkeit ($> 70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) zu verbessern; den Kraftstoffdurchfluss auf 0,4 l/min $\pm 0,01 \text{ l/min}$ und den Sauerstoffdurchfluss auf 1000 l/min $\pm 10 \text{ l/min}$ einzustellen; Verwenden Sie ein geschlossenes Regelsystem (Temperaturabweichung $< 50 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$), um die Prozesskonsistenz zu verbessern (Porositätsabweichung $< 0,1 \% \pm 0,02 \%$).

Technische Anwendungspraxis:

HVOF-Beschichtungen funktionieren auch in rauen Umgebungen gut:

Turbinenschaufeln für die Luftfahrt

Die mittels HVOF aufgespritzte WC12Co-Beschichtung (Dicke 100 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, Härte HV 1400 ± 30) weist eine Verschleißrate von $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ und eine Lebensdauer von $> 5000 \text{ Stunden} \pm 500 \text{ Stunden}$ in einem Hochtemperatur-Luftstrom von 1000 $^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ (Geschwindigkeit $> 300 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$) auf, die wesentlich länger ist als die des unbeschichteten Substrats ($< 2000 \text{ Stunden} \pm 200 \text{ Stunden}$).

Bergbaubohrer

Die mittels HVOF aufgespritzte WC10Co4Cr-Beschichtung (Porosität $< 0,8 \% \pm 0,1 \%$, Bindungsstärke $> 70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) hat eine Lebensdauer von 1500 m $\pm 100 \text{ m}$ beim Bohren in hartem Gestein (Schlagfrequenz $> 10^3 \text{ Hz} \pm 100 \text{ Hz}$), eine Steigerung von $50 \% \pm 5 \%$.

Tiefseeventil

Eine mittels HVOF aufgespritzte WCNiCr-Beschichtung (Dicke 150 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, Härte HV 1300 ± 30) weist in einer Meerwasser-Korrosionsumgebung (pH 8 $\pm 0,1$, Tiefe 5000 m $\pm 100 \text{ m}$) eine Korrosionsbeständigkeit von $> 5 \text{ Jahren} \pm 0,5 \text{ Jahren}$ auf, was besser ist als bei herkömmlichen Beschichtungen ($< 3 \pm 0,5 \text{ Jahre}$).

6.1.2 Plasmaspritzen (APS) und Detonationsspritzen

Verfahrensprinzip und technischer Überblick

Plasmaspritzen (APS) und Detonationsspritzen sind thermische Hochenergiespritzverfahren, bei

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

denen die Pulverabscheidung durch Plasma- bzw. Detonationsstoßwellen erfolgt und die sich zur Oberflächenmodifizierung von Hartmetallsubstraten ($R_a 2-5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) eignen. APS nutzt einen Hochtemperaturplasmastrom ($> 10.000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 100 \text{ }^\circ\text{C}$), um das Pulver vollständig zu schmelzen und eine dickere Beschichtung ($50-300 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) zu bilden. Beim Detonationsspritzen werden durch eine Hochfrequenzexplosion ($5-10 \text{ Hz} \pm 0,1 \text{ Hz}$) Partikel mit ultrahoher Geschwindigkeit ($2.000-4.000 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$) erzeugt, die eine hochdichte Beschichtung (Porosität $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$) bilden. APS eignet sich für komplexe Geometrien (Krümmungsradius $> 5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$). Das Detonationsspritzen zeichnet sich durch seine hohe Haftfestigkeit ($> 80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) aus und erfüllt die hohen Zuverlässigkeitsanforderungen in der Luftfahrt und Tiefsee. Die Beschichtungshärte liegt zwischen HV 1000–1400 ± 30 und die Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit ist deutlich verbessert.

Beispielsweise wird die APS-gespritzte WC12Co-Beschichtung (Dicke $150 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) für Bergbaubohrer mit einer Lebensdauer von $1200 \mu\text{m} \pm 100 \mu\text{m}$ verwendet; die explosionsgespritzte WCNiCr-Beschichtung (Bindungsfestigkeit $> 80 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$) wird für Flugzeugdüsen verwendet und hat eine Lebensdauer von $> 3000 \mu\text{m} \pm 300 \mu\text{m}$. Dieser Abschnitt erläutert die technischen Eigenschaften im Hinblick auf Prozessparameter, Beschichtungsmechanismus und Anwendungsszenarien.

Prozessparameter und Abscheidungsmechanismus

Plasmaspritzen (APS)

Beim APS wird mit einer Plasmakanone (Leistung $30-100 \text{ kW} \pm 5 \text{ kW}$) ein Hochtemperatur-Plasmastrom (Temperatur $> 10.000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 100 \text{ }^\circ\text{C}$, Geschwindigkeit $800-1.200 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$) erzeugt, der das Pulver (WCCo, Partikelgröße $15-50 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, Fließfähigkeit $12-15 \text{ Sekunden/50 g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$) vollständig schmilzt (Schmelzrate $> 95 \% \pm 2 \%$) und auf dem Substrat abgelagert. Zu den Parametern gehören: Plasmagas (Ar/H₂-Mischgas, Durchflussrate $50-80 \text{ l/min} \pm 1 \text{ l/min}$, Ar-Reinheit $> 99,99 \% \pm 0,01 \%$), Spritzdistanz ($100-150 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$), Lichtbogenparameter (Spannung $50-80 \text{ V} \pm 1 \text{ V}$, Stromstärke $500-1.000 \text{ A} \pm 10 \text{ A}$). Der Abscheidungsmechanismus basiert auf der Plasmadynamik (Ionendichte $10^{22} \text{ m}^{-3} \pm 10^{21} \text{ m}^{-3}$). Nachdem das Pulver vollständig geschmolzen ist, trifft es auf das Substrat und bildet eine Spritzschicht (Dicke $5-10 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m/Schicht}$). Nach dem Abkühlen weist die Beschichtung eine Porosität von $1-2 \% \pm 0,2 \%$ und eine Haftfestigkeit von $50-70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ auf. Beispielsweise weist die APS-gespritzte WC12Co-Beschichtung (Dicke $150 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) eine Härte von HV 1200 ± 30 und eine Porosität von $1,5 \% \pm 0,2 \%$ auf und erfüllt damit die Anforderungen an die Verschleißfestigkeit von Bergbaubohrern.

Detonationsspritzen

Beim Detonationsspritzen wird ein Brennstoff-Sauerstoff-Gemisch (C₂H₂/O₂, Verhältnis 2,5:1 $\pm$ 0,1) in einem geschlossenen Hohlraum (Druck $>10 \text{ MPa} \pm 0,5 \text{ MPa}$, Temperatur $\sim 4000^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$) zur Explosion gebracht, wodurch das Pulver (WCNiCr, Partikelgröße $20-50 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) mit ultrahoher Geschwindigkeit ($2000-4000 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$) auf das Substrat auftrifft. Zu den Parametern gehören: Explosionsfrequenz ($5-10 \text{ Hz} \pm 0,1 \text{ Hz}$), Sprühdistanz ($150-200 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$), Brennstoffverhältnis

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(C₂H₂ / O₂ 2,5 : 1±0,1). Der Mechanismus basiert auf der Ausbreitung von Stoßwellen (Geschwindigkeit > 3000 m/s ± 10 m/s), dem partiellen Schmelzen des Pulvers (Schmelzrate 60–80 % ± 2 %) und der Bildung ultradichter Beschichtungen (Porosität < 0,5 % ± 0,1 %, Haftfestigkeit > 80 MPa ± 5 MPa). Beispielsweise weist die detonationsgespritzte WCNiCr-Beschichtung (Dicke 100 µm ± 1 µm) eine Härte von HV 1300 ± 30 und eine Haftfestigkeit von > 80 MPa ± 5 MPa auf. Sie wird für Flugzeugdüsen verwendet und hat eine Lebensdauer von > 3000 ± 300 Stunden.

Analyse der Einflussfaktoren

Plasmaspritzen (APS)

Plasmaleistung

50 kW ± 5 kW gewährleisten ein vollständiges Schmelzen des Pulvers (> 95 % ± 2 %). Leistung < 30 kW ± 5 kW, Porosität > 3 % ± 0,5 %; > 100 kW ± 5 kW, Substratüberhitzung (> 500 °C ± 10 °C), Rissrate > 0,5 % ± 0,1 %.

Sprühdistanz

120 mm ± 5 mm optimieren die Abscheidungseffizienz (Bindungsfestigkeit > 60 MPa ± 5 MPa). Sprühabstand < 100 mm ± 5 mm, Beschichtungsablöserate > 1 % ± 0,2 %; > 150 mm ± 5 mm, Porosität > 2 % ± 0,2 %.

Pulverpartikelgröße

15–45 µm ± 1 µm, ausgewogenes Schmelzen und Abscheiden. Partikelgröße < 15 µm ± 1 µm, Flüchtigkeit > 5 % ± 1 %; > 45 µm ± 1 µm, Härte nimmt um 2 % ± 0,5 % ab (HV < 1100 ± 30).

Untergrundtemperatur

< 200 °C ± 10 °C, Vermeidung von Spannungskonzentrationen (< 50 MPa ± 5 MPa); > 300 °C ± 10 °C, Rissrate > 0,5 % ± 0,1 %.

Explosionsspritzen

Explosionshäufigkeit

8 Hz ± 0,1 Hz steuert die Beschichtungsdicke (10 µm ± 0,1 µm/Zeit). Bei einer Frequenz von > 10 Hz ± 0,1 Hz beträgt die Rissrate > 0,5 % ± 0,1 %; bei < 5 Hz ± 0,1 Hz verringert sich die Effizienz um 30 % ± 5 %.

Sprühdistanz

180 mm ± 5 mm gewährleisten eine Verbundfestigkeit (> 80 MPa ± 5 MPa). Sprühabstand < 150 mm ± 5 mm, Substratbeschädigung > 0,01 mm ± 0,002 mm; > 200 mm ± 5 mm, Verbundfestigkeit < 60 MPa ± 5 MPa.

Kraftstoffverhältnis

C₂ H₂ /O₂ 2,5:1±0,1 liefert stabile Energie. Verhältnisabweichung > 0,2, Oxidationsrate > 0,2 % ± 0,02 %.

Pulverpartikelgröße

20–50 µm ± 1 µm optimierte Abscheidung. Partikelgröße < 20 µm ± 1 µm, Flüchtigkeit > 3 % ± 0,5 %; > 50 µm ± 1 µm, Porosität > 1 % ± 0,2 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimierungsstrategie

APS

Wählen Sie eine Leistung von $50 \text{ kW} \pm 5 \text{ kW}$, einen Sprühabstand von $120 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, $15\text{--}30 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$ Pulver, eine Ar /H₂-Flussrate von $60 \text{ l/min} \pm 1 \text{ l/min}$, eine Substrattemperatur von $< 200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, stellen Sie eine Porosität von $< 1,5 \% \pm 0,2 \%$ und eine Bindungsstärke von $> 60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ sicher.

Explosionsspritzen

$180 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, C₂H₂ / O₂-Verhältnis bis $2,5:1 \pm 0,1$, Pulver bis $20\text{--}40 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$, Porosität bis $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$ und Bindungsstärke bis $> 80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$.

Allgemeine Optimierung

Die Substratrauhheit beträgt $R_a \text{ } 3\text{--}5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,1 \text{ }\mu\text{m}$ und es wird eine Online-Überwachung (Temperaturabweichung $< 50 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$) durchgeführt, um die Stabilität zu verbessern (Leistungsabweichung $< 1 \% \pm 0,2 \%$).

Ingenieuranwendungspraxis

Luftfahrdüse

Die explosionsgespritzte WCNiCr-Beschichtung (Dicke $100 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$, Bindungsstärke $> 80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) weist eine Verschleißfestigkeit von $> 3000 \text{ Stunden} \pm 300 \text{ Stunden}$ in einem Hochtemperatur-Luftstrom von $800 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ auf, was besser ist als die von herkömmlichen Beschichtungen ($< 1500 \text{ Stunden} \pm 200 \text{ Stunden}$).

Bergbaubohrer

Die aufgespritzte WC12Co-Beschichtung von APS (Härte HV 1200 ± 30 , Porosität $< 1,5 \% \pm 0,2 \%$) hat eine Lebensdauer von $1200 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$ beim Bohren in hartem Gestein, eine Steigerung von $40 \% \pm 5 \%$.

Verschleißfeste Form

Die aufgespritzte WC10Co4Cr-Beschichtung (Dicke $200 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$) von APS sorgt bei der Hochfrequenzextrusion ($> 10^6\text{-mal} \pm 10^5\text{-mal}$) für geringen Verschleiß ($< 0,07 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$).

Tiefseeventil

Die explosionsgespritzte WCNiCr-Beschichtung (Porosität $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$) hat eine Lebensdauer von $> 5 \text{ Jahren} \pm 0,5 \text{ Jahren}$ bei Seewasserkorrosion ($\text{pH } 8 \pm 0,1$).

6.2 Beschichtungsmaterialien

Beschichtungsmaterialien sind der Schlüssel zur Leistungssteigerung von Hartmetall. Durch Optimierung der Zusammensetzung und Struktur der Hartphase (WC, TiC) und der Bindephase (Co, NiCr, Ni) lassen sich hohe Härte (HV $1200\text{--}1500 \pm 30$), ausgezeichnete Zähigkeit ($K_{IC} \text{ } 10\text{--}15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) und hervorragende Korrosionsbeständigkeit (Korrosionsrate $< 0,01 \text{ mm/Jahr} \pm 0,002 \text{ mm/Jahr}$) erreichen. Es ist notwendig, Härte und Zähigkeit auszubalancieren, die Grenzflächenenergie ($< 1 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$) und die Wärmeausdehnungsabweichung ($< 5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) zu kontrollieren und sich an die komplexen Arbeitsbedingungen in der Luftfahrt, im

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bergbau und in der Tiefsee anzupassen. Die WCCo- Beschichtung ist für ihre hohe Härte bekannt, die WCNiCr- Beschichtung verbessert die Korrosionsbeständigkeit und die WCTiCNi-Mehrphasenbeschichtung berücksichtigt Härte und Zähigkeit, wodurch die Anwendungsszenarien erweitert werden.

In diesem Abschnitt werden Strategien und technische Verfahren aus zwei Blickwinkeln erörtert: Optimierung der Zusammensetzung von WCCo- und WCNiCr- Beschichtungen und mehrphasigen Verbundbeschichtungen (WCTiCNi). Kombination aus Phasendiagrammanalyse (WCCo- Liquidus $1320\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$), Diffusionskinetik (Koeffizient $10^{-10}\text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-11}\text{ cm}^2/\text{s}$) und mechanischem Modell (Orowan-Verstärkung). Beispielsweise wird eine WC12Co-Beschichtung (Härte HV 1300 ± 30) für Turbinenschaufeln von Flugzeugen verwendet, mit einer Verschleißrate von $< 0,05\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01\text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$; eine WC10Co4Cr-Beschichtung (Korrosionsrate $< 0,01\text{ mm/Jahr} \pm 0,002\text{ mm/Jahr}$) wird für Tiefseeventile verwendet; Die WCTiCNi-Beschichtung ($K_{1c} \approx 12\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) erhöht die Lebensdauer von Bergbaubohrern auf $1500\text{ m} \pm 100\text{ m}$.

6.2.1 Zusammensetzungsoptimierung von WCCo- und WCNiCr -Beschichtungen

Prinzip und technischer Überblick

WCCo- und WCNiCr -Beschichtungen sind die gängigsten Optionen für die Oberflächenmodifizierung von Hartmetall. Durch die Anpassung des Verhältnisses von Hartphase (WC, Volumenanteil $70\text{--}90\text{ \%} \pm 1\text{ \%}$) und Bindephase (Co, NiCr, $10\text{--}30\text{ \%} \pm 1\text{ \%}$) wird die Leistung optimiert und an unterschiedliche Arbeitsbedingungen angepasst. WCCo- Beschichtungen sind für ihre hohe Härte und Verschleißfestigkeit bekannt, während WCNiCr- Beschichtungen in korrosiven Umgebungen gute Leistungen erbringen. Ziel ist eine synergetische Verbesserung der Härte (HV $1200\text{--}1500 \pm 30$), Zähigkeit ($K_{1c} \approx 10\text{--}15\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) und Korrosionsbeständigkeit sowie die Gewährleistung der Bindefestigkeit zwischen Beschichtung und Substrat ($> 60\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$).

Die WCCo- Beschichtung bietet Verschleißfestigkeit mit WC (Härte HV $> 2000 \pm 50$, Korngröße $0,5\text{--}2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) und Co ($10\text{--}20\text{ \%} \pm 1\text{ \%}$, Zähigkeit $K_{1c} > 20\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$), um die Grenzflächenbindung zu verbessern (Grenzflächenenergie $< 1\text{ J/m}^2 \pm 0,1\text{ J/m}^2$). Die WCNiCr-Beschichtung ersetzt Co durch NiCr (Ni $8\text{--}15\text{ \%} \pm 1\text{ \%}$, Cr $2\text{--}5\text{ \%} \pm 0,5\text{ \%}$), und Cr bildet eine Cr_2O_3 -Passivierungsschicht (Dicke $< 10\text{ nm} \pm 1\text{ nm}$), die die Korrosionsbeständigkeit deutlich verbessert (Korrosionsrate $< 0,01\text{ mm/Jahr} \pm 0,002\text{ mm/Jahr}$). Die Optimierung basiert auf dem Phasendiagramm (WCCo- Liquidus $\sim 1320\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) und der Orowan-Verfestigung (Kornabstand $< 1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) und unterstützt Anwendungen in der Luftfahrt und Tiefsee.

Zusammensetzungsoptimierung und Mechanismusanalyse

Die WCCo- Beschichtung

hängt vom Verhältnis von WC und Co ab: Die WC-Hartphase (Volumenanteil $80\text{ \%} \pm 1\text{ \%}$, Korngröße $0,5\text{--}2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) sorgt für eine hohe Härte (HV $> 2000 \pm 50$); die Co-Bindephase

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Gehalt $12 \% \pm 1 \%$) verbessert die Grenzflächenbindung ($> 60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) und verbessert die Zähigkeit ($K_{Ic} 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$). Ein zu hoher Co-Gehalt ($> 20 \% \pm 1 \%$) verringert die Härte ($\text{HV} < 1100 \pm 30$), ein zu niedriger Co-Gehalt ($< 8 \% \pm 1 \%$) erhöht die Porosität ($> 2 \% \pm 0,5 \%$). Die optimierte WC12Co-Beschichtung (HVOF-Spritzen, Geschwindigkeit $700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$) hat eine Härte von $\text{HV} 1300 \pm 30$, eine Porosität von $< 0,8 \% \pm 0,1 \%$ und eine Verschleißrate von $< 0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ und ist für Turbinenschaufeln in der Luftfahrt ($1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$) geeignet.

WCNiCr -Beschichtung

Die WCNiCr-Beschichtung verbessert die Korrosionsbeständigkeit durch Ersetzen von Co durch NiCr: Die Ni-Basis ($8 \% - 15 \% \pm 1 \%$) sorgt für Zähigkeit ($K_{Ic} > 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) und Bindungsstärke ($> 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$); Cr-Zugabe ($4 \% \pm 0,5 \%$) bildet eine Cr_2O_3 -Passivierungsschicht, die Gewichtszunahme gegen Oxidation beträgt $< 0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$, und die Korrosionsbeständigkeit wird um $30 \% \pm 5 \%$ verbessert ($\text{pH } 4-10 \pm 0,1$). Die WC10Co4Cr-Beschichtung (HVOF, Porosität $< 0,8 \% \pm 0,1 \%$) hat eine Härte von $\text{HV} 1200 \pm 30$ und eine Korrosionsrate von $< \text{Es wird für Tiefseeventile mit einer Lebensdauer von } > 5 \text{ Jahren} \pm 0,5 \text{ Jahren}$ verwendet.

Analyse der Einflussfaktoren

WC-Partikelgröße

$0,5-2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$ optimieren die Härte ($\text{HV} > 1200 \pm 30$). Partikelgröße $< 0,5 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$, Zersetzungsrate $> 2 \% \pm 0,5 \%$; $> 2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$, Zähigkeit nimmt um $3 \% \pm 0,5 \%$ ab.

Bindephasengehalt

Co $12 \% \pm 1 \%$, NiCr $12 \% \pm 1 \%$ (Cr $4 \% \pm 0,5 \%$). Ausgewogene Leistung. Co/ NiCr $< 8 \% \pm 1 \%$, Porosität $> 2 \% \pm 0,5 \%$; $> 20 \% \pm 1 \%$, Härte nimmt um $10 \% \pm 2 \%$ ab.

Cr-Gehalt

$4 \% \pm 0,5 \%$ verbessern die Korrosionsbeständigkeit; $> 6 \% \pm 0,5 \%$ bilden sprödes Cr_3C_2 mit einer Härte von $< 1000 \pm 50$.

Sprühverfahren: HVOF ($700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$) ist besser als APS, mit einer Porosität von $< 1 \% \pm 0,2 \%$ gegenüber $> 1,5 \% \pm 0,2 \%$.

Matrixtemperatur: $< 200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, um Spannungen zu vermeiden ($< 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$); $> 300 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, Rissrate $> 0,5 \% \pm 0,1 \%$.

Die Optimierungsstrategie

verwendet WC-Körner von $0,5-1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$, Co $12 \% \pm 1 \%$ oder NiCr $12 \% \pm 1 \%$ (Cr $4 \% \pm 0,5 \%$); HVOF-Spritzen (Geschwindigkeit $700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$, Spritzdistanz $250 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$) wird verwendet, um die Porosität zu reduzieren ($< 0,8 \% \pm 0,1 \%$); Substratrauheit $\text{Ra } 3 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,1 \text{ } \mu\text{m}$, Vorwärmtemperatur $150 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, Verbesserung der Bindungsstärke ($> 70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$); Zugabe von $0,5 \% \pm 0,01 \%$ VC hemmt die WC-Zersetzung ($< 0,5 \% \pm 0,1 \%$) und erhöht die Härte um 3%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\pm 0,5 \%$; und es wird eine Online-Überwachung implementiert (Temperaturabweichung $<50 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$), um die Konsistenz sicherzustellen (Leistungsabweichung $<1 \% \pm 0,2 \%$).

Ingenieuranwendungspraxis

Turbinenschaufeln für die Luftfahrt

WC12Co-Beschichtung (Härte HV 1300 $\pm$ 30, Verschleißrate $<0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), Lebensdauer >5000 Stunden $\pm$ 500 Stunden.

Tiefseeventil

WC10Co4Cr-Beschichtung (Korrosionsrate $<0,01 \text{ mm/Jahr} \pm 0,002 \text{ mm/Jahr}$), Lebensdauer >5 Jahre $\pm 0,5$ Jahre.

Bergbaubohrer

WC15Co-Beschichtung (Zähigkeit $K_{IC} \geq 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), Lebensdauer $> 1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$, Verbesserung um $50 \% \pm 5 \%$.

6.2.2 Mehrphasige Verbundbeschichtung (WCTiCNi)

Überblick über das Prinzip und die Technologie mehrphasiger Verbundbeschichtungen

Die mehrphasige Verbundbeschichtung (WCTiCNi) enthält TiC (Härte HV $> 2500 \pm 50$, Volumenanteil $5\text{--}20 \% \pm 1 \%$) und Ni ($8\text{--}15 \% \pm 1 \%$), um die Härte (HV $1300\text{--}1500 \pm 30$), Zähigkeit ($K_{IC} \geq 10\text{--}15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) und Verschleißfestigkeit (Verschleißrate $< 0,04 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$) auf der Basis einer WC-basierten Beschichtung ($0,5\text{--}2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$) zu verbessern. Im Vergleich zu einer einfachen WCCo-Beschichtung weist die WCTiCNi-Beschichtung eine geringere Dichte ($\sim 10 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ vs. $15 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) und eine stärkere Oxidationsbeständigkeit (Gewichtszunahme durch Oxidation $<0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$) auf und ist für Umgebungen mit hoher Stoßbelastung und Korrosion geeignet.

Die Leistung wird durch Verbundverstärkung (TiC-Korngrenzenfixierung) und Grenzflächentechnik (WC/ TiC-Grenzflächenenergie $<0,8 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$) optimiert. WC sorgt für die Grundhärte, TiC reduziert die Dichte und erhöht die Oxidationsbeständigkeit, Ni verbessert die Zähigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Beispielsweise hat die HVOF-gespritzte WC10TiC12Ni-Beschichtung (TiC $10 \% \pm 1 \%$) eine Härte von HV 1400 ± 30 und eine Porosität von $<1 \% \pm 0,2 \%$ und wird in Bergbaubohrern mit einer Lebensdauer von $>1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$ eingesetzt.

Zusammensetzungsoptimierung und Mechanismusanalyse mehrphasiger Verbundbeschichtungen

Die Leistung hängt vom Anteil jeder Phase und Mikrostruktur ab

Die WC/ TiC-Hartphase (WC-Volumenanteil $70\text{--}85 \% \pm 1 \%$) sorgt für Härte (HV $> 2000 \pm 50$), TiC ($10 \% \pm 1 \%$, Dichte $4,9 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) verbessert die Oxidationsbeständigkeit (oxidative

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gewichtszunahme $< 0,05 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,01 \text{ mg/cm}^2$; die Ni-Bindephase ($12 \% \pm 1 \%$) sorgt für Zähigkeit ($K_{1c} > 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) und Korrosionsbeständigkeit (Korrosionsrate $< 0,01 \text{ mm/Jahr} \pm 0,002 \text{ mm/Jahr}$). Die Optimierung basiert auf Orowan-Verfestigung (Kornabstand $< 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) und Phasendiagrammanalyse (WCTiCNi-Liquidus $\sim 1350 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$). Die WC10TiC12Ni-Beschichtung (HVOF, Porosität $< 1 \% \pm 0,2 \%$) hat eine Härte von $\text{HV } 1400 \pm 30$, eine Zähigkeit von $K_{1c} > 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ und eine Verschleißrate von $< 0,04 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$.

Analyse der Einflussfaktoren

TiC- Gehalt

$10 \% \pm 1 \%$ gleicht Härte und Zähigkeit aus. $> 20 \% \pm 1 \%$, es bildet sich eine spröde Phase ($K_{1c} < 8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$); $< 5 \% \pm 1 \%$, unzureichende Härte ($\text{HV} < 1200 \pm 30$).

Ni-Gehalt

$12 \% \pm 1 \%$ optimieren die Bindungsstärke ($> 60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$). $> 15 \% \pm 1 \%$, Härte nimmt um $5 \% \pm 1 \%$ ab; $< 8 \% \pm 1 \%$, Porosität $> 2 \% \pm 0,5 \%$.

Partikelgröße

WC/ TiC $0,5\text{--}1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ gewährleistet Gleichmäßigkeit (Abweichung $< 5 \% \pm 1 \%$). $> 2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Zähigkeit nimmt um $3 \% \pm 0,5 \%$ ab.

Sprühvorgang

HVOF ($700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$) kontrolliert die TiC -Zersetzung ($< 1 \% \pm 0,2 \%$); APS ($> 10.000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 100 \text{ }^\circ\text{C}$), Zersetzungsrate $> 3 \% \pm 0,5 \%$.

Substratvorwärmung

$150 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ verbessert die Bindungsfestigkeit ($> 70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$); $> 200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, Spannung $> 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$.

Die Optimierungsstrategie

verwendet WC/ TiC- Körner von $0,5\text{--}1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, TiC $10 \% \pm 1 \%$ und Ni $12 \% \pm 1 \%$; HVOF-Spritzen (Geschwindigkeit $700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$, Spritzdistanz $250 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$) wird verwendet, um die Porosität zu kontrollieren ($< 1 \% \pm 0,2 \%$); Substratrauheit $R_a 3 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, Vorwärmtemperatur $150 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$; $0,3 \% \pm 0,01 \%$ VC werden hinzugefügt, um die TiC-Zersetzung zu hemmen ($< 0,5 \% \pm 0,1 \%$) und die Härte um $3 \% \pm 0,5 \%$ zu erhöhen; AI-Optimierungsparameter werden implementiert (Abweichung $< 1 \% \pm 0,2 \%$), um die Konsistenz zu verbessern.

Ingenieuranwendungspraxis

Bergbaubohrer

WC10TiC12Ni-Beschichtung (Härte $\text{HV } 1400 \pm 30$, Verschleißrate $< 0,04 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$), Lebensdauer $> 1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$, eine Steigerung von $50 \% \pm 5 \%$.

Verschleißfeste Form

WC15TiC10Ni-Beschichtung (Zähigkeit $K_{1c} > 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), Lebensdauer $> 10^6$ -fach ± 10

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

⁵-fach.

Luftfahrtdüse

WC10TiC12Ni-Beschichtung (Verschleißfestigkeit $<0,04 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), Lebensdauer >3000 Stunden ± 300 Stunden.

6.3 Gradienten- und nanostrukturierte Hartmetalle

Gradientiertes und nanostrukturiertes Hartmetall verbessert die Härte (HV 2000-3000 $\pm$ 50), Zähigkeit (K_{IC} 10-20 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) und Wärmeermüdungsbeständigkeit (Lebensdauer $> 10^5$ -fach $\pm 10^4$ -fach) durch Schnittstellentechnik (Gradient WCCo, Co 0-20% ± 1 %) und nanokristalline Verstärkung (WC $<100 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$). Die Gradientenstruktur lindert Fehlanpassungen der Wärmeausdehnung ($<5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) durch allmähliche Änderung der Zusammensetzung, und die Nanostruktur verbessert die Festigkeit ($>4500 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$) durch Korngrenzenverstärkung (Hall-Petch-Effekt, $\sigma_y \sim d^{-1/2}$) und eignet sich gut für die Luftfahrt, den Bergbau und die Elektronikfertigung.

Dieser Abschnitt beginnt mit der Grenzflächentechnik von Gradient-WCCo und der Herstellung und den Herausforderungen von Nano-WC ($<100 \text{ nm}$). Dabei werden Thermodynamik (Grenzflächenenergie $<1 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$), Kinetik (Agglomerationsrate $\sim 10^{-9} \text{ m/s} \pm 10^{-10} \text{ m/s}$) und ein mechanisches Modell (Orowan-Verstärkung) kombiniert, um die Prinzipien und Praktiken zu untersuchen. Beispielsweise wird Gradient-WCCo (Co 5 % – 15 % ± 1 %) für Bergbaubohrer verwendet und die Aufpralllebensdauer beträgt $> 1800 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$; Nano-WC-Beschichtung ($<100 \text{ nm} \pm 5 \text{ nm}$) wird für PCB-Bohrer verwendet und die Lebensdauer beträgt $> 10^5$ Löcher $\pm 10^4$ Löcher.

6.3.1 Schnittstellentechnik des Gradienten WCCo

Prinzip und technischer Überblick

Gradientes WCCo optimiert die Grenzflächenspannung ($<50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$), verbessert die Bindungsstärke ($>80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) und die Wärmeermüdungsbeständigkeit ($>10^5$ -fach $\pm 10^4$ -fach) durch schrittweises Variieren des Co-Gehalts (0-20 % ± 1 %, Gradientendicke 0,5-2 $\text{mm} \pm 0,01 \text{ mm}$). Im Vergleich zu gleichmäßigem WCCo lindert die Gradientenstruktur Wärmeausdehnungsfehlanspannungen (WC $4,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, Co $13 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), verringert Schnittstellenrisse ($<0,1 \% \pm 0,02 \%$), berücksichtigt die Oberflächenhärte (HV 1800 ± 30) und die innere Zähigkeit (K_{IC} 15 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) und ist für Umgebungen mit hoher Stoßbelastung geeignet.

Die Herstellungsmethode umfasst Pulverlaminierung und In-situ-Reaktion. Bei der Pulverlaminierung werden Pulver mit unterschiedlichem Co-Gehalt (5–15 % ± 1 %) schichtweise gestapelt.

Kontinuierliche Gradienten werden durch kaltisostatisches Pressen (CIP, 250 $\text{MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vakuumsintern ($1450\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) erzeugt; In-situ-Reaktionen erzeugen Gradientenschichten durch Karbiddiffusion ($\text{Rate} \sim 10^{-10}\text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-11}\text{ cm}^2/\text{s}$). Die Stabilität wird durch die Grenzflächenthermodynamik gewährleistet (Grenzflächenenergie $< 1\text{ J/m}^2 \pm 0,1\text{ J/m}^2$). Beispielsweise wird Gradient- WCCo (Co 5 %-15 % $\pm 1\%$) in Bergbaubohrern mit einer Schlaglebensdauer von $> 1800\text{ m} \pm 100\text{ m}$ verwendet.

Vorbereitungsprozess und Mechanismusanalyse

Pulvervorbereitung: Wählen Sie WC ($0,5\text{--}1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) und Co (5–15 % $\pm 1\%$) sowie das Schichtverhältnis (Abweichung $< 1\% \pm 0,2\%$).

Formen: CIP-Formen ($250\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$), Gründichte $> 99\% \pm 0,1\%$.

Sintern: Vakuumsintern ($1450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, Druck $< 10^{-3}\text{ Pa} \pm 10^{-4}\text{ Pa}$), Co-Diffusionsbildungsgradient ($\text{Rate} \sim 10^{-10}\text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-11}\text{ cm}^2/\text{s}$).

Nachbehandlung: Wärmebehandlung ($600^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$) zur Beseitigung von Eigenspannungen ($< 20\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$).

Der Mechanismus basiert auf der Reduzierung von Fehlanpassungen durch thermische Ausdehnung und Diffusionskinetik. Der Co-Gradient (5–15 % $\pm 1\%$) sorgt für eine gleichmäßige Spannungsverteilung ($< 50\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$), und die Grenzflächenenergie $< 1\text{ J/m}^2 \pm 0,1\text{ J/m}^2$ gewährleistet die Bindungsfestigkeit ($> 80\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$). Beispielsweise weist der Gradient WCCo (Schichtdicke $1\text{ mm} \pm 0,01\text{ mm}$) eine Härte von $\text{HV } 1800 \pm 30$ und eine Zähigkeit von $K_{IC} \text{ c } 15\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$ auf.

Analyse der Einflussfaktoren

$\pm 1\%$ optimiert die Spannung ($< 50\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$). $> 20\% \pm 1\%$, Zähigkeit ist zu hoch ($K_{IC} > 20\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$), Härte nimmt um $5\% \pm 1\%$ ab; $< 5\% \pm 1\%$, Spannungskonzentration ($> 100\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$).

Schichtdicke: $1\text{ mm} \pm 0,01\text{ mm}$, um Kontinuität sicherzustellen (Abweichung $< 1\% \pm 0,2\%$). $< 0,5\text{ mm} \pm 0,01\text{ mm}$, Spannungskonzentration ($> 100\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$); $> 2\text{ mm} \pm 0,01\text{ mm}$, Gradientenunschärfe ($> 5\% \pm 1\%$).

Sintertemperatur: $1450\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, kontrollierte Diffusion ($> 10^{-10}\text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-11}\text{ cm}^2/\text{s}$). $> 1500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, Gradient unscharf ($> 5\% \pm 1\%$); $< 1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, Bindungsstärke $< 60\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$.

Pulverpartikelgröße: WC $0,5\text{--}1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ verbessert die Gleichmäßigkeit. $> 2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, Schnittstellendefekte $> 1\% \pm 0,2\%$.

Zusatz: $0,5\% \pm 0,01\%$ VC hemmt das Kornwachstum ($< 0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) und erhöht die Härte um $3\% \pm 0,5\%$.

Die Optimierungsstrategie

sah einen Co-Gehalt von 5–15 % $\pm 1\%$, eine Schichtdicke von $1\text{ mm} \pm 0,01\text{ mm}$ und eine WC-Partikelgröße von $0,5\text{--}1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, eine Sintertemperatur von $1450\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ und einen Druck von $< 10^{-3}\text{ Pa} \pm 10^{-4}\text{ Pa}$, die Zugabe von $0,5\% \pm 0,01\%$ VC zur Hemmung des Kornwachstums und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Erhöhung der Härte um $3\% \pm 0,5\%$, eine Online-Überwachung (Temperaturabweichung $<10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$) zur Verbesserung der Stabilität (Leistungsabweichung $<1\% \pm 0,2\%$) und eine Wärmebehandlung nach der Verarbeitung ($600\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) zur Beseitigung von Restspannungen ($<20\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$) vor.

Ingenieurierungspraxis

Bergbaubohrer

Gradient WCCo (Co $5\% - 15\% \pm 1\%$, Härte HV 1800 ± 30), beim Bohren in hartem Gestein (Schlagfrequenz $> 10^3\text{ Hz} \pm 100\text{ Hz}$), Lebensdauer $> 1800\text{ m} \pm 100\text{ m}$, eine Steigerung von $60\% \pm 5\%$.

Verschleißfeste Form

Gradient WCCo (Zähigkeit $K_{1c} 15\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), Lebensdauer $> 10^6$ -fach $\pm 10^5$ -fach.

Luftfahrtwerkzeuge

Gradient- WCCo (Spannung $<50\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$) hat beim Hochgeschwindigkeitsschneiden ($>1000\text{ m/min} \pm 10\text{ m/min}$) eine Lebensdauer von $>20\text{ Stunden} \pm 1\text{ Stunde}$, was besser ist als die der gleichmäßigen Struktur ($<10\text{ Stunden} \pm 1\text{ Stunde}$).

6.3.2 Herstellung und Herausforderungen von Nano-WC ($<100\text{ nm}$)

Prinzip- und Technologieübersicht Nano

WC (Körner $< 100\text{ nm} \pm 5\text{ nm}$) wird durch Hochenergie-Kugelmahlen, Plasmasynthese oder chemische Gasphasenabscheidung (CVD) hergestellt und weist basierend auf dem Hall-Petch-Effekt ($\sigma_y \sim d^{-1/2}$, Korngrenzendichte $> 10^{14}\text{ m}^{-2} \pm 10^{13}\text{ m}^{-2}$) eine Härte von HV $2500-3000 \pm 50$ und eine Festigkeit von $> 5000\text{ MPa} \pm 100\text{ MPa}$ auf. Im Vergleich zu herkömmlichem WC ($0,5-2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) verbessert die Korngrenzenverstärkung von Nano-WC die Festigkeit erheblich und erhält die Zähigkeit ($K_{1c} 10-15\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$). Nano-WC-Beschichtungen (Dicke $10-50\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$) eignen sich gut für die Elektronikfertigung und Tiefseetechnik, beispielsweise für PCB-Bohrer (Lebensdauer $> 10^5$ Löcher $\pm 10^4$ Löcher).

Herausforderungen wie Agglomeration (Rate $\sim 10^{-9}\text{ m/s} \pm 10^{-10}\text{ m/s}$), Oxidation ($O > 0,1\% \pm 0,02\%$) und Sinterkornwachstum ($>200\text{ nm} \pm 10\text{ nm}$). Ziel ist die Kontrolle der Korngröße ($<100\text{ nm} \pm 5\text{ nm}$) und die Verbesserung der Leistung durch Prozessoptimierung und Additive (VC, Cr_3C_2).

Vorbereitungsprozess und Mechanismusanalyse

Hochenergie-Kugelmahlen

WC-Pulver (anfängliche Partikelgröße $1-10\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) wurde $20-50\text{ h} \pm 1\text{ h}$ in einer Planetenmühle (Geschwindigkeit $300-500\text{ U/min} \pm 10\text{ U/min}$, Kugel-Pulver-Verhältnis $10:1 \pm 0,1$) gemahlen und die Korngröße auf $<100\text{ nm} \pm 5\text{ nm}$ reduziert, mit einem Beitrag zur Korngrenzenverstärkung von $\sim 500\text{ MPa} \pm 50\text{ MPa}$.

Plasmasynthese

WCl_6 reagiert mit CH_4 (Flussrate $1:1 \pm 0,1$) im Plasma ($>10.000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) und erzeugt Nano-WC

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(<80 nm±5 nm) mit einer Abscheidungsrate von >90 %±2 %.

Herz-Kreislauf-Erkrankungen

W(CO)₆ reagiert mit H₂ (800–1000 °C ± 10 °C) und scheidet eine WC-Beschichtung ab (Körner < 100 nm ± 5 nm, Dicke 10–50 µm ± 1 µm).

Der Mechanismus basiert auf Korngrenzenverfestigung und Agglomerationskinetik. Der Hall-Petch-Effekt erhöht die Festigkeit mit abnehmender Korngröße ($\sigma_y \sim d^{-1/2}$). Die Agglomerationsrate ($\sim 10^{-9}$ m/s ± 10^{-10} m/s) wird durch die Oberflächenenergie (~ 1 J/m² ± 0,1 J/m²) bestimmt und durch die Zugabe eines Dispergiermittels (PVA, 0,5 % ± 0,01 %) gesteuert. Beispielsweise beträgt die Härte einer CVD-Nano-WC-Beschichtung (<80 nm ± 5 nm) HV 2500 ± 50 und die Zähigkeit K_{IC} 12 MPa·m^{1/2} ± 0,5.

Analyse der Einflussfaktoren

Körnung

<100 nm±5 nm erfordert energiereiches Schleifen (>50 Stunden±1 Stunde). >100 nm±5 nm, Härte nimmt um 10 %±2 % ab.

Wiedervereinigung

Ohne Dispergiermittel beträgt die Agglomerationsrate >20 % ± 2 %; bei Zugabe von 0,5 % ± 0,01 % PVA beträgt die Agglomerationsrate <5 % ± 1 %.

Sintertemperatur

Bei <1200 °C ± 10 °C wird das Kornwachstum gehemmt (<150 nm ± 10 nm); bei >1300 °C ± 10 °C beträgt die Korngröße >200 nm ± 10 nm und die Härte nimmt um 15 % ± 2 % ab.

Atmosphäre

Ar / H₂ (O₂ <10 ppm±1 ppm) Oxidation vermeiden (O <0,05 %±0,01 %). O₂ >100 ppm±10 ppm, Oxidationsrate >0,2 %±0,02 %.

Zusatzstoff

0,3 % ± 0,01 % VC kontrolliert die Korngröße (< 100 nm ± 5 nm) und erhöht die Härte um 5 % ± 1 %.

Die Optimierungsstrategie

verwendet Hochenergie-Kugelmahlen (50 Stunden ± 1 Stunde, Rotationsgeschwindigkeit 400 U/min ± 10 U/min), Korngröße <100 nm ± 5 nm; Sintertemperatur <1200 °C ± 10 °C, Ar / H₂-Atmosphäre (O₂ < 10 ppm ± 1 ppm); Zugabe von 0,5 % ± 0,01 % PVA-Dispergiermittel, Agglomerationsrate <5 % ± 1 %; Zugabe von 0,3 % ± 0,01 % VC, um das Kornwachstum zu hemmen und die Härte um 5 % ± 1 % zu erhöhen; Online-Überwachung der Partikelgröße (Abweichung < 5 nm ± 1 nm) zur Gewährleistung der Stabilität.

Ingenieuranwendungspraxis

PCB-Bohrer

Nano-WC-Beschichtung (Korn <80 nm±5 nm, Härte HV 2500±50), Lebensdauer >10⁵ Löcher±10

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

⁴ Löcher, verbessert um 100 %±10 %.

Tiefseeventil

Nano-WC-Beschichtung (Korrosionsrate <0,01 mm/Jahr ± 0,002 mm/Jahr), Lebensdauer >5 Jahre ± 0,5 Jahre.

Luftfahrtwerkzeuge

Nano-WC-Beschichtungen (Festigkeit > 5000 MPa ± 100 MPa) und eine Lebensdauer von > 20 Stunden ± 1 Stunde sind besser als herkömmliche Beschichtungen (< 10 Stunden ± 1 Stunde).

6.4 Beschichtungsleistungsprüfung

Der Beschichtungsleistungstest erfolgt nach standardisierten Methoden (ASTM G65, ISO 6508, ASTM E384) zur Bewertung wichtiger Indikatoren wie Bindungsstärke (50–80 MPa ± 5 MPa), Porosität (< 1 % ± 0,2 %), Härte (HV 1200–1500 ± 30), Verschleißfestigkeit (Verschleißrate < 0,06 mm³/N·m ± 0,01 mm³/N·m) und Korrosionsbeständigkeit (Korrosionsrate < 0,01 mm/Jahr ± 0,002 mm/Jahr). Dadurch wird sichergestellt, dass die Beschichtung die Zuverlässigkeitsanforderungen der Luftfahrt, des Bergbaus und der Tiefsee erfüllt, und es werden Daten zur Prozessoptimierung bereitgestellt.

In diesem Abschnitt werden Prüftechnologie und -praxis aus der Perspektive von Bindungsstärke, Porosität und Verschleißfestigkeit erörtert. Dabei werden Bruchmechanik (K_{Ic} 10-15 MPa·m^{1/2} ± 0,5), Oberflächenkunde (Kontaktwinkel < 10° ± 1°) und statistische Analyse (Fehler ± 0,01 mm³/N·m) kombiniert. Beispielsweise wird eine HVOF-WC12Co-Beschichtung (Bindungsstärke > 70 MPa ± 5 MPa) für Turbinenschaufeln in der Luftfahrt verwendet und hat eine Lebensdauer von > 5000 Stunden ± 500 Stunden; eine Nano-WC-Beschichtung (Porosität < 0,5 % ± 0,1 %) wird für PCB-Bohrer verwendet und hat eine Lebensdauer von > 10⁵ Löchern ± 10⁴ Löchern.

6.4.1 Haftfestigkeit (50-80 MPa) und Porosität (<1%)

Prüfprinzip und Technologieübersicht:

Haftfestigkeit und Porosität sind die wichtigsten Indikatoren für die Bewertung der Beschichtungszuverlässigkeit und beeinflussen direkt die Abriebfestigkeit und Haltbarkeit. Die Haftfestigkeit spiegelt die Grenzflächenbindungskraft wider, die Porosität die Dichte. Standardisierte Methoden gewährleisten die Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Haftfestigkeit (ASTM C633): Zugversuch (Geschwindigkeit 0,5 mm/min ± 0,01 mm/min) misst die Trennkraft, Festigkeit 50–80 MPa ± 5 MPa. Die Probe (Durchmesser 25 mm ± 0,1 mm, Beschichtungsdicke 100–200 µm ± 1 µm) wird mit einem hochfesten Klebstoff (> 100 MPa ± 5 MPa) fixiert. Die Berechnungsformel lautet $\sigma = F/A$.

Porosität (ASTM E2109): Rasterelektronenmikroskop (REM, Auflösung <0,1 µm ± 0,01 µm) wurde verwendet, um den Querschnitt zu analysieren und das Porositätsverhältnis (<1 % ± 0,2 %) zu messen. Die Probe wurde auf Ra <0,05 µm ± 0,01 µm poliert und anhand des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Flächenverhältnisses berechnet.

Beispielsweise wird die HVOF WC12Co-Beschichtung (Bindungsstärke $>70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, Porosität $<0,8 \% \pm 0,1 \%$) für Turbinenschaufeln in der Luftfahrt verwendet und die Lebensdauer gegen Abplatzen beträgt $>5000 \text{ Stunden} \pm 500 \text{ Stunden}$.

Testmethoden und Mechanismusanalyse

Klebkraft

Basierend auf der Bruchmechanik ($K_{Ic} 10\text{--}15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) wird die Festigkeit der Grenzflächenbindung durch mechanische Verzahnung ($Ra 2\text{--}5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) und Mikrodiffusion ($<1 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) bestimmt. Der Prozess umfasst die Probenvorbereitung (Dicke $100\text{--}200 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), Fixierung und Dehnung (Geschwindigkeit $0,5 \text{ mm/min} \pm 0,01 \text{ mm/min}$). Die HVOF-Beschichtung (Geschwindigkeit $700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$) weist eine Festigkeit von $>70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ auf und ist damit besser als APS ($<60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$).

Porosität

Basierend auf der SEM-Bildanalyse (Vergrößerung $>1000\times \pm 100\times$) werden Poren als dunkle Bereiche dargestellt, und das Flächenverhältnis wird per Software berechnet. Die HVOF-Porosität beträgt $<1 \% \pm 0,2 \%$, was besser ist als APS ($\sim 1,5 \% \pm 0,2 \%$).

Analyse der Einflussfaktoren

Klebkraft

Eine Matrixrauheit von $Ra 3\text{--}5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ verbessert die Festigkeit ($>70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$); $<2 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, $<50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$. Eine Spritzgeschwindigkeit von $700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$ ist besser als APS; eine Vorwärmtemperatur von $150^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ verbessert die Diffusion.

Porosität

Eine Sprühleistung von $100 \text{ kW} \pm 10 \text{ kW}$ (HVOF) ist besser als $50 \text{ kW} \pm 5 \text{ kW}$ (APS); eine Pulverpartikelgröße von $10\text{--}30 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ verringert die Porosität; der Sprühabstand optimiert die Dichte.

Optimierungsstrategie:

Substratrauheit $Ra 3\text{--}5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, Vorwärmtemperatur $150^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$; HVOF (Geschwindigkeit $700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$, Leistung $100 \text{ kW} \pm 10 \text{ kW}$), Pulver $10\text{--}30 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$; APS-Sprühabstand $120 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$; Explosionssprühabstand $180 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$; hochpräzise SEM- und Streckgeräte zur Gewährleistung der Genauigkeit.

Ingenieuranwendungspraxis

Turbinenschaufeln für die Luftfahrt

HVOF WC12Co-Beschichtung (Bindungsfestigkeit $>70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, Porosität $<0,8 \% \pm 0,1 \%$), Lebensdauer $>5000 \text{ Stunden} \pm 500 \text{ Stunden}$.

Tiefseeventil

HVOF WC10Co4Cr-Beschichtung (Bindungsfestigkeit $>70 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$), Lebensdauer >5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Jahre $\pm 0,5$ Jahre.

Bergbaubohrer

Explosionsgespritzte WCNiCr-Beschichtung (Bindungsfestigkeit $> 80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, Porosität $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$), Lebensdauer $> 1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

6.4.2 Verschleißfestigkeit (ASTM G65, Verschleißrate $< 0,06 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$)

Testprinzip und technischer Überblick

Die Verschleißfestigkeit ist der wichtigste Indikator zur Bewertung der Beschichtungsleistung und wirkt sich direkt auf die Lebensdauer von Beschichtungen in Umgebungen mit hoher Reibung aus. Der ASTM G65-Trockensand-/Gummiradtest simuliert abrasiven Verschleiß und misst die Verschleißrate ($< 0,06 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$) und bietet damit eine Grundlage für Prozessoptimierung und Materialauswahl.

Testprozess

Die Probe ($50 \times 25 \times 10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, Dicke $100\text{--}200 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$) wurde in einem Sandstrahl (SiO_2 , Partikelgröße $200\text{--}300 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$, Strömungsgeschwindigkeit $300 \text{ g/min} \pm 10 \text{ g/min}$) gerieben (Radgeschwindigkeit $200 \text{ U/min} \pm 1 \text{ U/min}$, Belastung $130 \text{ N} \pm 1 \text{ N}$, 6000 Umdrehungen ± 10 Umdrehungen). Das Verschleißvolumen wurde aus dem Massenverlust ($V = \Delta m / \rho$, $\rho = 14\text{--}15 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) berechnet, die Verschleißrate $= V / (F \cdot S)$. Beispielsweise hat die HVOF WC12Co-Beschichtung (Verschleißrate $< 0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$) eine Lebensdauer von $> 5000 \text{ Stunden} \pm 500 \text{ Stunden}$.

Die Prüfmethode und die Mechanismusanalyse

basieren auf dem Archard-Modell ($V = k \cdot F \cdot S / H$, $k = 10^{-4} \pm 10^{-5}$, $H = \text{HV } 1200\text{--}1500 \pm 30$). Je höher die Härte und je geringer die Porosität, desto höher die Verschleißfestigkeit. Der Prozess umfasst die Vorbereitung der Probe, die Einstellung der Parameter und die Berechnung der Verschleißrate. Die Verschleißrate der HVOF-Beschichtung (Härte $\text{HV } 1400 \pm 30$) beträgt $< 0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ und ist damit besser als APS ($> 0,07 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$).

Analyse der Einflussfaktoren

Härte

$\text{HV } 1400 \pm 30$ reduziert die Verschleißrate ($< 0,05 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$); $< 1200 \pm 30$, $> 0,08 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$.

Porosität

$< 1 \% \pm 0,2 \%$ verbessert die Verschleißfestigkeit; $> 2 \% \pm 0,5 \%$ erhöht die Verschleißrate um $20 \% \pm 5 \%$.

Dicke

$100\text{--}200 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$ gleicht Verschleißfestigkeit und Belastung aus.

Technologie

HVOF ist besser als APS; WC-Partikelgröße $0,5\text{--}1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$ verbessert die Verschleißfestigkeit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Optimierungsstrategie

verwendet HVOF (Geschwindigkeit $700 \text{ m/s} \pm 10 \text{ m/s}$), WC-Korngröße $0,5\text{--}1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Dicke $100\text{--}200 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$; Zugabe von $0,3 \% \pm 0,01 \% \text{ VC}$ oder TiC ($5 \%\text{--}10 \% \pm 1 \%$) zur Verbesserung der Härte; Online-Überwachung zur Gewährleistung der Stabilität.

Ingenieuranwendungspraxis

Turbinenschaufeln für Flugzeuge: HVOF WC12Co-Beschichtung, Lebensdauer $> 5000 \text{ Stunden} \pm 500 \text{ Stunden}$.

Bergbaubohrer: WC10TiC12Ni-Beschichtung, Lebensdauer $> 1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

PCB-Bohrer: Nano-WC-Beschichtung, Lebensdauer $> 10^5 \text{ Löcher} \pm 10^4 \text{ Löcher}$.

Zusammenfassung und Ausblick

Durch Prozessoptimierung, Materialdesign und strukturelle Innovationen hat die Beschichtungs- und Verbundtechnologie Durchbrüche in der Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und thermischen Ermüdungsbeständigkeit von Hartmetall erzielt, um den Anforderungen verschiedener Branchen gerecht zu werden. Zukünftig wird die Entwicklung von intelligentem Sprühen, PVD/CVD-Verbundbeschichtungen, grünen Beschichtungen und Nano-Verbundbeschichtungen vorangetrieben und Leistung und Anwendungsbereich weiter verbessert.

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

Anhang:

Was ist eine Hartmetallbeschichtung

1. Definition

Eine Hartlegierungsbeschichtung ist eine Beschichtung, die durch ein spezielles Verfahren auf die Oberfläche eines Substrats aufgebracht wird. Ihr Hauptbestandteil ist ein Verbundwerkstoff aus einer Hartlegierung (z. B. Karbid, Nitrid oder Borid) und einem Metallbinder (z. B. Kobalt oder Nickel). Hartlegierungsbeschichtungen verwenden üblicherweise Wolframkarbid (WC), Titankarbid (TiC) oder Chromkarbid (Cr₃C₂) als Haupthartphase. Sie zeichnen sich durch extrem hohe Härte, Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit aus und werden häufig zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften von Substraten eingesetzt.

2. Zusammensetzung

Harte Phase:

Hauptbestandteile: Wolframkarbid (WC), Titankarbid (TiC), Chromkarbid (Cr₃C₂) usw.

Eigenschaften: Hohe Härte (HV 1000–3000), hoher Schmelzpunkt (> 2000 °C), hervorragende Verschleißfestigkeit (Wear Resistance).

Bindemittelphase:

Gängige Materialien: Kobalt (Co), Nickel (Ni), Eisen (Fe) oder deren Legierungen.

Funktion: Verbindet Hartphasenpartikel miteinander, um Zähigkeit (Hartfestigkeit) und Schlagfestigkeit (Schlagfestigkeit) zu gewährleisten.

Typisches Verhältnis:

Hartphase: 70–90 Gew. % (Gewichtsprozent).

Bindephase: 10–30 Gew.-%.

Beispiel: In einer WC-Co-Beschichtung beträgt der WC-Anteil 80–90 % und der Co-Anteil 10–20 %.

3. Zubereitungsmethoden

Hartmetallbeschichtungen können durch eine Vielzahl von Verfahren auf der Substratoberfläche abgeschieden werden. Zu den gängigen Methoden gehören:

Thermisches Spritzen:

Methoden:

Hochgeschwindigkeits-Sauerstoff-Brennstoff-Spritzen (HVOF): Dabei wird Pulver mithilfe einer Hochgeschwindigkeitsflamme auf die Substratoberfläche gesprüht.

Plasmaspritzen: Pulver wird durch einen Plasmalichtbogen geschmolzen und abgeschieden.

Flammspritzen: Spritzen mittels Acetylen-Sauerstoff-Flamme.

Eigenschaften:

Schichtdicke: 0,1–2 mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bindungsstärke: 50–80 MPa.

Porosität: 1-5 %.

Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD):

Methoden:

Magnetronspütern.

Elektronenstrahlverdampfung .

Eigenschaften:

Schichtdicke: 1–10 µm .

Geeignet für dünne Schichten und glatte Oberflächen.

Chemische Gasphasenabscheidung (CVD):

Methoden:

eine Hartphase, beispielsweise eine TiC- oder TiN -Beschichtung, auf der Substratoberfläche abgeschieden.

Eigenschaften:

Schichtdicke: 5–20 µm .

Hohe Gleichmäßigkeit (High Uniformity), erfordert aber hohe Temperatur (High Temperature, 700–1000 °C).

Laserauftragschweißen :

Methoden:

Das Hartmetallpulver wird mithilfe eines Laserstrahls geschmolzen und auf der Substratoberfläche abgeschieden.

Eigenschaften:

Schichtdicke: 0,5-3 mm.

Hohe Bindungsstärke, nahe an metallurgischer Bindung.

4. Leistungsmerkmale

Hohe Härte:

Härtebereich: HV 1000–3000 (Vickershärte) oder HRC 60–80 (Rockwellhärte).

Beispiel: Die Härte der WC-Co-Beschichtung kann 1200–1500 HV erreichen.

Verschleißfestigkeit:

Harte Phasen (wie WC) können abrasivem und erosivem Verschleiß wirksam widerstehen.

Anwendung: Verlängert die Lebensdauer von Schneidwerkzeugen und Formen.

Korrosionsbeständigkeit:

Die Bindemittelphase (z. B. Ni) kann die Korrosionsbeständigkeit der Beschichtung in sauren und alkalischen Umgebungen verbessern.

Beispiel: Cr3C2-NiCr-Beschichtung ist für Hochtemperaturkorrosionsumgebungen geeignet (Hochtemperaturkorrosion).

Hochtemperaturbeständigkeit:

Es kann seine Leistung bei 600–1000 °C aufrechterhalten und ist für Hochtemperaturbedingungen geeignet.

Schlagfestigkeit:

Die Bindephase sorgt für eine gewisse Zähigkeit, die Schlagzähigkeit ist insgesamt jedoch geringer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

als bei reinen Metallwerkstoffen.

5. Untergrundanforderungen

Material:

Gängige Grundmaterialien: Stahl, Gusseisen, Aluminiumlegierung.

Anforderungen: Der Untergrund muss eine gewisse Festigkeit und Hitzebeständigkeit aufweisen.

Oberflächenvorbereitung:

Reinigung: Öl- und Oxidschicht entfernen.

Rauheit: Ra 3,2–6,3 μm (Sandstrahlen).

Standardreferenz: ASME B46.1-2009 (Anforderungen an die Oberflächenrauheit).

6. Bewerbungen

Industrielle Schneidwerkzeuge:

Beispiel: WC-Co-Beschichtung wird bei Fräsen und Bohren verwendet, um die Verschleißfestigkeit und Lebensdauer zu verbessern.

Formen:

Beispiel: Stanzwerkzeuge werden mit Cr₃C₂-NiCr beschichtet, um Verschleiß und Anhaften zu verhindern.

Luft- und Raumfahrt:

Beispiel: Eine TiC-Beschichtung wird für Turbinenschaufeln verwendet, um die Hochtemperaturbeständigkeit und Verschleißfestigkeit zu verbessern.

Petrochemie:

Beispiel: WC-Ni-Beschichtungen werden auf Ventilen und Bohrwerkzeugen verwendet, um Erosion und Korrosion zu verhindern.

Bergbauausrüstung:

Beispiel: Eine WC-Co-Beschichtung wird in Gesteinsbohrern verwendet, um die Beständigkeit gegen abrasiven Verschleiß zu verbessern.

7. Testmethoden

Härteprüfung:

Methode: Rockwellhärte (HRC, ISO 6508-1:2016), Vickershärte (HV, ISO 6507-1:2018).

Beispiel: Das Härtetestergebnis der WC-Co-Beschichtung beträgt HRC 65 oder HV 1200.

Mikrostrukturanalyse:

Methode: Rasterelektronenmikroskop (REM).

Beobachtung: Partikelverteilung der Hartphase, Porosität.

Haftfestigkeit:

Methode: Zugversuch, ASTM C633-Standard.

Beispiel: Die Haftfestigkeit einer HVOF-Beschichtung kann 70 MPa erreichen.

Verschleißfestigkeitstest:

Methode: ASTM G65 (Abriebtest mit trockenem Sand/Gummirad).

Ergebnisse: Die Verschleißrate der WC-Co-Beschichtung lag unter 0,01 mm³/N·m.

Oberflächenrauheit:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Methode: Stiftprofilometer, ASME B46.1-2009.

Beispiel: Oberflächenrauheit der Beschichtung Ra 0,8–2,0 μm .

8. Vorteile und Nachteile

Vorteile:

Hohe Härte und Verschleißfestigkeit verlängern die Lebensdauer des Substrats erheblich.

Korrosionsbeständigkeit und hohe Temperaturbeständigkeit, geeignet für raue Arbeitsbedingungen.

Anpassbar: Erfüllen Sie unterschiedliche Anforderungen durch die Anpassung des Verhältnisses von Hartphase und Klebphase.

Nachteile:

Hohe Kosten: Beispielsweise ist die HVOF-Prozessausrüstung teuer und die Materialpreise sind hoch.

Sprödigkeit: Hartmetallbeschichtungen weisen eine geringe Schlagfestigkeit auf und neigen zur Rissbildung.

Begrenzte Dicke: Eine zu dicke Beschichtung kann zum Abblättern führen.

9. Typisches Beispiel

WC-Co-Beschichtung:

Zusammensetzung: WC 88 Gew.-%, Co 12 Gew.-%.

Verfahren: HVOF-Spritzen.

Leistung: Härte HV 1300, Bindungsstärke 75 MPa, hervorragende Verschleißfestigkeit.

Anwendung: Bohrer für den Bergbau.

10. Trends

Nanostrukturierte Beschichtungen:

Zur Verbesserung von Härte und Zähigkeit werden Nano-WC-Partikel verwendet.

Beispiel: Eine Nano-WC-Co-Beschichtung kann eine Härte von HV 2000 erreichen.

Mehrschichtbeschichtungen:

Durch die Kombination verschiedener Hartmetalle (wie WC/ TiC) kann die Gesamtleistung verbessert werden.

Beispiel: WC-Cr₃C₂-Mehrlagenbeschichtung wird für verschleißfeste Hochtemperaturteile verwendet.

Umweltfreundliche Prozesse:

Entwickeln Sie energie- und emissionsarme Beschichtungstechnologien wie das Kaltgasspritzen.

Zusammenfassung

Die Hartmetallbeschichtung ist eine leistungsstarke Oberflächenschutztechnologie mit Hartmetall (z. B. WC) als Hartphase und Metall (z. B. Co, Ni) als Bindephase. Sie wird durch thermisches Spritzen, PVD, CVD und andere Verfahren auf der Substratoberfläche abgeschieden. Sie zeichnet sich durch hohe Härte, Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit aus und wird häufig in Industriewerkzeugen, Formenbau, der Luft- und Raumfahrt und anderen Bereichen eingesetzt. Die größten Herausforderungen sind Kosten, Sprödigkeit und Prozesskomplexität. Durch

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nanotechnologie und mehrschichtiges Strukturdesign wird die Leistung jedoch zukünftig weiter verbessert.



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

Anhang:

Hartmetall-Hochexplosionsspritztechnologie (DGS)

1. Definition des Detonation Gun Spraying (DGS)

Detonation Gun Spraying (DGS), auch bekannt als Detonation Gun Spraying, ist eine thermische Spritztechnologie, die durch periodische Detonationsreaktionen Hochtemperatur- und Hochdruckgas erzeugt, Hartmetallpulver (wie WC-Co) auf Überschallgeschwindigkeit (ca. 3500 m/s) beschleunigt und auf die Oberfläche des Substrats sprüht, um eine hochharte, verschleißfeste Beschichtung zu bilden. Die Technologie wurde 1955 von HB Sargent et al. erfunden und ursprünglich von der Union Carbide Company unter dem Namen „D-Gun“ vermarktet.

2. Prinzip des Detonation Gun Spraying (DGS)-Verfahrens

DGS nutzt eine kontrollierte Detonationsreaktion zur Energiebereitstellung. Die einzelnen Schritte sind wie folgt:

Detonationsreaktion

In der Detonationskanone (D-Gun) wird ein Mischgas (wie Sauerstoff O_2 und Acetylen C_2H_2 im Verhältnis 1:1–1,5:1) gezündet und es kommt zu einer Detonationsreaktion, die eine Stoßwelle mit hoher Temperatur (ca. 4000 °C) und hohem Druck (ca. 2–3 MPa) erzeugt.

Die Geschwindigkeit der Stoßwelle kann 3500 m/s erreichen und einen Überschall-Luftstrom bilden.

Pulverbeschleunigung und -ablagerung

Dabei wird Hartmetallpulver (Partikelgröße 10–50 μm) in die Detonationskanone eingespritzt, durch die Stoßwelle auf Überschallgeschwindigkeit (ca. 800–1200 m/s) beschleunigt und teilweise geschmolzen bzw. erweicht.

Die Pulverpartikel treffen mit extrem hoher Geschwindigkeit auf die Substratoberfläche, verformen sich plastisch, kühlen schnell ab und bilden eine dichte Beschichtung mit einer Dicke von typischerweise 50–300 μm .

Periodischer Betrieb

Nach jeder Detonation wird das Restgas in der Waffe mit Stickstoff (N_2) gespült, um eine Selbstentzündung und einen Flammenrückschlag zu verhindern.

Die Sprühfrequenz beträgt 1-10 Hz (1-10 Detonationen pro Sekunde), abhängig von der Schichtdicke und dem Material.

Untergrundvorbehandlung

muss das Substrat durch Sandstrahlen aufgeraut (Ra 3–5 μm) und von Öl und Oxiden gereinigt werden.

3. Eigenschaften von Hartmetallpulver beim Detonation Gun Spraying (DGS)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Häufig verwendete Materialien:

WC-Co (Kobaltgehalt 6–17 Gew.-%) : hohe Härte und Verschleißfestigkeit, wird häufig in verschleißfesten Beschichtungen verwendet.

Cr₃C₂- NiCr : Beständig gegen Oxidation bei hohen Temperaturen, geeignet für Umgebungen mit hohen Temperaturen.

Oxidkeramiken (wie Al₂O₃ - TiO₂) : werden verwendet, wenn besondere Anforderungen an die Verschleißfestigkeit oder Korrosionsbeständigkeit gestellt werden.

Pulverbedarf:

Partikelgröße: 10–50 µm, um ein gleichmäßiges Sprühen zu gewährleisten.

Reinheit: >99%, Sauerstoffgehalt <500 ppm, Vermeidung von Beschichtungsfehlern.

Morphologie: kugelförmig oder nahezu kugelförmig, was der Beschleunigung und Ablagerung förderlich ist.

4. Anwendung des Detonation Gun Spraying (DGS) im Hartmetallbereich

Die DGS-Technologie wird aufgrund ihrer hohen Bindungsstärke und der geringen Porosität der Beschichtung häufig in Szenarien eingesetzt, in denen eine hohe Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit erforderlich ist:

Luft- und Raumfahrt:

Besprühen von Flugzeugtriebwerksteilen (wie Turbinenschaufeln, Kompressorschaufeln) zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit.

Industrielle Ausrüstung:

Oberflächenbeschichtung von Schneidwerkzeugen, Matrizen, Ventilen und Pumpenkörpern zur Verlängerung der Lebensdauer.

Energiewirtschaft:

Beschichtungen für Öl- und Gasbohrgeräte (wie Bohrmeißel) zum Schutz vor Erosion und Verschleiß.

Konkretes Beispiel: Durch das Aufsprühen einer WC-12Co-Beschichtung auf Turbinenschaufeln von Flugzeugtriebwerken kann eine Härte von HV 1100–1300 erreicht und die Verschleißfestigkeit um das 5- bis 8-fache verbessert werden.

5. Prozessparameter des Hartmetall-Hochexplosionsspritzens (Detonation Gun Spraying, DGS)

Detonationsgas: O₂ + C₂H₂ (Verhältnis 1:1-1,5:1), oder fügen Sie eine kleine Menge N₂ (5 -10 %) hinzu, um die Temperatur anzupassen.

Sprühfrequenz: 1–10 Hz, zur Kontrolle der Beschichtungsdicke.

Sprühabstand: 150–200 mm, Überhitzung des Untergrundes vermeiden.

Pulverzufuhrrate: 20–40 g/min, um eine gleichmäßige Beschichtung zu gewährleisten.

Substrattemperatur: kontrolliert auf <150 °C, um eine Wärmeeinflusszone (WEZ) zu vermeiden.

Spülgas: N₂, nach jeder Detonation 2-3 Sekunden spülen.

6. Merkmale des Detonation Gun Spraying (DGS)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hohe Temperatur und hoher Druck: Die Detonationstemperatur beträgt etwa 4000 °C und die Stoßwellengeschwindigkeit 3500 m/s, was viel höher ist als bei anderen thermischen Spritztechnologien.

Beschichtungsleistung:

Hohe Härte: WC-Co-Beschichtungshärte HV 1100–1400.

Bindungsfestigkeit: 70–100 MPa, hauptsächlich mechanische Bindung, teilweise metallurgische Bindung.

Sehr geringe Porosität: <1 %, dichte Beschichtung.

Oberflächenrauheit: Ra 2–4 µm, geringere Nachbearbeitung erforderlich.

Geringe Wärmezufuhr: Substrattemperatur <150 °C, keine Wärmeeinflusszone (HAZ), keine Wärmenachbehandlung (PWHT) erforderlich.

Vor- und Nachteile des Hartmetall-Hochexplosionsspritzens (Detonation Gun Spraying, DGS)

Vorteile:

Hohe Beschichtungsqualität: Porosität <1 %, hohe Bindungsfestigkeit, hervorragende Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit.

Geringe thermische Belastung: keine thermische Verformung des Substrats, geeignet für Präzisionsteile.

Starke Anwendbarkeit: Kann eine Vielzahl von Hartmetallen und Keramikmaterialien (wie WC-Co, Al₂O₃) sprühen.

Weniger Nachbearbeitung: Geringe Oberflächenrauheit, wodurch die Kosten für die Nachbearbeitung gesenkt werden.

Nachteile:

Komplexe Ausrüstung: Die Konstruktion der Strahlpistole ist komplex und die Kosten sind hoch (ca. 2–3 Millionen Yuan).

Betriebsrisiken: Es kommt zu einer Detonationsreaktion, die strenge Sicherheitsmaßnahmen erfordert (wie etwa einen Flammenrückschlagschutz und eine Stickstoffspülung).

Geringe Effizienz: periodischer Betrieb (1–10 Hz), langsame Sprühgeschwindigkeit (ca. 0,1–0,3 m²/h).

Pulverbeschränkung: Es ist hochfestes Pulver (wie WC-Co) erforderlich, da es sonst zu Brüchen kommen kann.

8. Vergleich zwischen Detonation Gun Spraying (DGS) und anderen thermischen Spritztechnologien

Vergleich mit APS (Plasmaspray):

DGS: Geringere Porosität (<1 % vs. 2–5 %), höhere Bindungsstärke (70–100 MPa vs. 30–70 MPa), aber geringere Effizienz.

APS: Höhere Temperatur (15.000 °C), für eine größere Bandbreite an Materialien geeignet, aber stärkere Oxidation.

Im Vergleich zu HVOF (High Velocity Oxygen Fuel Spray):

DGS: dichtere Beschichtung, höhere Härte (HV 1100–1400 vs. 800–1200), aber komplexere Ausrüstung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

HVOF: Schnellere Spritzgeschwindigkeit (0,5–1 m²/h), geringere Kosten, weniger Oxidation.

Im Vergleich zum VPS (Vakuum-Plasmaspritzen):

DGS: arbeitet in der Atmosphäre, ist kostengünstig, kann aber zu Spuren von Oxidation führen.

VPS: Keine Oxidation, geringere Porosität, aber hohe Gerätekosten (ca. 5 Millionen Yuan).

Zusammenfassen

Die Hartmetall-Hochexplosionsspritztechnologie (DGS) nutzt eine Detonationsreaktion, um Hartmetallpulver mit Überschall auf das Substrat zu sprühen und so eine hochharte, porenarme Beschichtung zu bilden. Diese Beschichtung wird häufig in der Luft- und Raumfahrt, in der Industrie und anderen Bereichen eingesetzt. Ihre Vorteile liegen in der hohen Beschichtungsqualität und der geringen thermischen Belastung, allerdings ist die Anlage komplex und die Effizienz gering. Prozessoptimierungen (z. B. Anpassung der Detonationsfrequenz und der Pulverpartikelgröße) können die Leistung weiter verbessern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

Hartmetall-Plasmaspritztechnologie (APS , atmosphärisches Plasmaspritzen)

1. Definition des atmosphärischen Plasmaspritzens (APS)

Das Plasmaspritzen von Hartmetall (APS , Atmosphärisches Plasmaspritzen) ist ein thermisches Spritzverfahren, bei dem Hartmetallpulver (z. B. WC-Co, WC-Ni) mithilfe einer Plasmaflamme geschmolzen oder halbgeschmolzen wird. Anschließend wird es mit hoher Geschwindigkeit auf die Substratoberfläche gespritzt, um eine dichte Hartmetallbeschichtung zu bilden. Dieser Prozess findet in atmosphärischer Umgebung statt und wird daher als „atmosphärisches Plasmaspritzen“ bezeichnet.

2. Prinzip des atmosphärischen Plasmaspritzens (APS)

Der APS-Prozess basiert auf den hohen Temperaturen und Energieeigenschaften von Plasma. Die wichtigsten Schritte sind:

Plasmaerzeugung

Mithilfe einer Plasmaspritzpistole wird ein Inertgas (z. B. Argon Ar) oder ein Mischgas (z. B. Ar+H₂) eingeleitet und mit einem Hochfrequenzlichtbogen (Spannung 50–100 V, Stromstärke 500–1000 A) das Gas ionisiert, um ein Hochtemperaturplasma zu bilden (die Temperatur kann 10.000–15.000 °C erreichen).

Pulvererhitzung und -beschleunigung

Hartmetallpulver (Partikelgröße 10–50 µm) wird über eine Pulverzufuhr in die Plasmaflamme eingeführt , schnell bis zum geschmolzenen oder halbgeschmolzenen Zustand erhitzt und auf 300–600 m/s beschleunigt.

Belagsbildung

Die geschmolzenen Pulverpartikel treffen auf die Substratoberfläche, kühlen schnell ab und verfestigen sich zu einer „Spritzer“-Beschichtung (Splats), die sich zu einer dichten Beschichtung mit einer Dicke von typischerweise 50–500 µm stapeln .

Atmosphärenkontrolle

APS arbeitet in einer atmosphärischen Umgebung und es besteht ein gewisses Oxidationsrisiko. Um die Oxidation der Beschichtung zu verringern, wird häufig ein Schutzgas (z. B. Argon) verwendet, um den Auslass der Spritzpistole teilweise abzuschirmen.

3. Pulvereigenschaften des Hartmetall-Plasmaspritzens (APS , Atmosphärisches Plasmaspritzen)

Häufig verwendete Materialien:

WC-Co (Kobaltgehalt 6–12 Gew.-%) : hohe Härte und Verschleißfestigkeit, wird häufig in verschleißfesten Beschichtungen verwendet.

WC-Ni: Bessere Korrosionsbeständigkeit, geeignet für saure Umgebungen.

Cr₃C₂- NiCr : Beständig gegen Oxidation bei hohen Temperaturen, geeignet für Umgebungen mit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hohen Temperaturen.

Pulverbedarf:

Partikelgröße: 10–50 µm, gewährleistet gute Fließfähigkeit und gleichmäßiges Schmelzen.

Reinheit: >99%, Verunreinigungen (wie z.B. O₂) <500 ppm, Vermeidung von Beschichtungsfehlern.

Morphologie: kugelförmig oder nahezu kugelförmig, was der Gleichmäßigkeit des Sprühens förderlich ist.

4. Anwendung des Hartmetall-Plasmaspritzens (APS , Atmospheric Plasma Spraying) im Hartmetallbereich

APS wird häufig zur Herstellung von Hartmetallbeschichtungen auf Substraten (wie Stahl, Edelstahl, Aluminium usw.) verwendet, um die Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit zu verbessern. Zu den Hauptanwendungen gehören:

Industrieteile:

Durch eine Oberflächenbeschichtung von Schneidwerkzeugen und Formen kann deren Lebensdauer verlängert werden.

Beschichtungen für Ventile und Pumpenkörper erhöhen die Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit.

Luft- und Raumfahrt:

Beschichtung der Turbinenschaufeln, beständig gegen Verschleiß bei hohen Temperaturen.

Energiewirtschaft:

Beschichtungen für Kesselrohre und Bohrgeräte zum Schutz vor Erosion und Hochtemperaturoxidation.

Konkretes Beispiel: Durch Aufsprühen einer WC-12Co-Beschichtung auf die Oberfläche eines Ölbohrmeißels kann eine Härte von HRC 60–65 erreicht und die Verschleißfestigkeit um das 3- bis 5-fache verbessert werden.

Prozessparameter beim Plasmaspritzen von Hartmetall (APS , atmosphärisches Plasmaspritzen)

Plasmagas: Ar (Hauptgas, 30–50 l/min) + H₂ (Hilfsgas, 5–10 l/min).

Leistung: 30–50 kW (je nach Spritzpistolenmodell).

Sprühabstand: 80–150 mm, beeinflusst die Dichte und Haftfestigkeit der Beschichtung.

Pulverzufuhr rate : 30–60 g/min, um eine gleichmäßige Beschichtung zu gewährleisten.

Untergrundvorbehandlung: Sandstrahlen Aufrauen (Ra 3-5 µm) zur Verbesserung der Haftfestigkeit.

Kühlung: Das Substrat benötigt eine Zwangsluft- oder Wasserkühlung und die Temperatur sollte auf <200 °C geregelt werden, um thermische Spannungen zu vermeiden.

6. Eigenschaften des Hartmetall-Plasmaspritzens (APS , Atmosphärisches Plasmaspritzen)

Hohe Temperaturbeständigkeit: Die Plasmatemperatur ist extrem hoch (10.000–15.000 °C) und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

kann hochschmelzende Hartmetalle (wie WC, Schmelzpunkt 2870 °C) schmelzen.

Beschichtungsleistung:

Hohe Härte: Die Härte der WC-Co-Beschichtung kann HV 900–1200 erreichen.

Haftfestigkeit: 30–70 MPa (je nach Untergrund und Verfahren).

Porosität: 2–5 %, dicht, aber immer noch mit Mikroporen.

Betriebsumgebung: Wird in der Atmosphäre durchgeführt, mit einfacher Ausrüstung, geeignet für Industriestandorte.

7. Vor- und Nachteile des Hartmetall-Plasmaspritzens (APS , Atmospheric Plasma Spraying)

Vorteile:

Breite Anwendbarkeit: Es kann eine Vielzahl von Hartmetallmaterialien (wie WC-Co, Cr₃C₂-NiCr) sprühen, um sich an verschiedene Substrate anzupassen.

Hohe Effizienz: Schnelle Sprühgeschwindigkeit (bis zu 0,5–1 m²/h), geeignet für die Beschichtung großer Flächen.

Die Beschichtung weist hervorragende Eigenschaften auf: hohe Härte, gute Verschleißfestigkeit und eine deutliche Verbesserung der Lebensdauer der Teile.

Die Kosten für die Ausrüstung sind moderat: APS-Ausrüstung (ca. 500.000 bis 1.000.000 Yuan) ist günstiger als HVOF (High Velocity Oxygen Fuel Spray).

Nachteile:

Oxidationsrisiko: Beim Betrieb in der Atmosphäre kann die Beschichtung oxidieren (z. B. zersetzt sich WC in W₂C und erzeugt das Oxid WO₃), was die Leistung beeinträchtigt.

Höhere Porosität: Eine Porosität von 2–5 % kann die Korrosionsbeständigkeit verringern und eine Nachbearbeitung (z. B. Versiegelung) erforderlich machen.

Thermischer Einfluss: Ein Flammenstrom mit hoher Temperatur kann zu einer thermischen Verformung des Substrats führen und die Kühlung muss streng kontrolliert werden.

Eigenspannung: Unterschiede im Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen Beschichtung und Substrat können zu Spannungskonzentrationen führen, die die Bindung beeinträchtigen.

8. Vergleich zwischen Hartmetall-Plasmaspritzen (APS , Atmosphärisches Plasmaspritzen) und anderen thermischen Spritztechnologien

Im Vergleich zu HVOF (High Velocity Oxygen Fuel Spray):

APS: Höhere Temperatur (15.000 °C), geeignet für Materialien mit hohem Schmelzpunkt, aber mehr Oxidation und höhere Porosität (2–5 %).

HVOF: niedrigere Temperatur (3000 °C), höhere Geschwindigkeit (> 1000 m/s), weniger Oxidation, geringere Porosität (< 1 %), aber etwas geringere Härte für WC-Co-Beschichtungen (HV 800–1000).

Vergleich mit Vakuumplasmaspritzen (VPS):

APS: In der Atmosphäre sind die Kosten gering, aber die Probleme mit Oxidation und Porosität sind erheblich.

VPS: Unter Vakuum ist die Beschichtungsqualität höher (Porosität <1 %, keine Oxidation), aber die Ausrüstung ist komplex und die Kosten sind hoch (2–5 Millionen Yuan).

Beim Hartmetall-Plasmaspritzen (APS) wird Hartmetallpulver mittels Hochtemperaturplasma auf

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

die Oberfläche des Substrats gespritzt. Dadurch entsteht eine hochharte, verschleißfeste Beschichtung, die häufig in der Industrie, der Luft- und Raumfahrt und anderen Bereichen eingesetzt wird. Die Vorteile liegen in der breiten Anwendbarkeit und der hohen Effizienz, allerdings sollte auf Oxidations- und Porositätsprobleme geachtet werden. Prozessoptimierungen (z. B. Anpassung des Spritzabstands und Zugabe von Schutzgas) können die Beschichtungsqualität weiter verbessern.

Anhang:

Hochgeschwindigkeits-Brennstoff-Spritztechnologie für Hartmetall (Hochgeschwindigkeits -Sauerstoff-Brennstoff -Sprühen, HVOF)

1. Definition des Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzens (HVOF) mit Hartmetall

Das Sauerstoff-Brennstoff-Spritzen (HVOF) von Hartmetall ist ein thermisches Spritzverfahren. Durch die schnelle Verbrennung von Brennstoff und Sauerstoff wird ein Luftstrom mit hoher Temperatur und hohem Druck erzeugt. Hartmetallpulver (z. B. WC-Co, Cr₃C₂ - NiCr) wird auf Überschallgeschwindigkeit (ca. 500–1000 m/s) beschleunigt und auf die Substratoberfläche gespritzt. Dadurch entsteht eine verschleißfeste Beschichtung mit hoher Härte und geringer Porosität. Diese Technologie wurde in den 1980er Jahren von Browning entwickelt und ist aufgrund ihrer hervorragenden Beschichtungseigenschaften weit verbreitet.

2. Prinzip des Hartmetall-Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzverfahrens (HVOF)

Die HVOF-Technologie nutzt einen Hochgeschwindigkeitsluftstrom, der durch die Kraftstoffverbrennung erzeugt wird. Die wichtigsten Schritte sind:

Verbrennungs- und Luftstrombeschleunigung

In der Brennkammer der Waffe wird Treibstoff (z. B. Kerosin, Propan oder Wasserstoff) mit Sauerstoff vermischt und bei einer Verbrennungstemperatur von etwa 2800–3200 °C gezündet.

Das unter hohem Druck stehende Verbrennungsgas wird durch die Lavaldüse auf Überschallgeschwindigkeit (500–1000 m/s) beschleunigt, wodurch ein Hochgeschwindigkeitsflammenstrom entsteht.

Pulvererhitzung und -sprühung

Hartmetallpulver (Partikelgröße 10–45 µm) wird über eine Pulverzufuhr in die Flamme eingespritzt , teilweise geschmolzen oder erweicht (Temperatur unterhalb des Schmelzpunkts, etwa 1000–1500 °C) und auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt.

Die Pulverpartikel treffen mit hoher kinetischer Energie auf das Substrat, verformen sich plastisch, kühlen schnell ab und lagern sich zu einer dichten Beschichtung mit einer Dicke von typischerweise 50–400 µm ab .

Atmosphärenkontrolle

Die Verbrennung erfolgt in einer sauerstoffreichen Umgebung mit hoher Flammengeschwindigkeit, wodurch die Lufteinschlüsse verringert und der Oxidationsgrad der Beschichtung reduziert wird.

Untergrundvorbehandlung

Das Substrat muss sandgestrahlt werden, um es aufzurauen (Ra 3–5 µm) , und gereinigt werden, um Öl und Oxide zu entfernen und die Bindungsstärke zu verbessern.

3. Eigenschaften von Hartmetall-Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzpulver (HVOF)

Häufig verwendete Materialien:

WC-Co (Kobaltgehalt 6–17 Gew.-%) : hohe Härte und Verschleißfestigkeit, wird häufig in verschleißfesten Beschichtungen verwendet.

Cr₃C₂- NiCr : Beständig gegen Oxidation und Korrosion bei hohen Temperaturen, geeignet für

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

Umgebungen mit hohen Temperaturen.

NiCrBSi : Selbstfließende Legierung, verschleißfest und korrosionsbeständig.

Pulverbedarf:

Partikelgröße: 10–45 μm , um ein gleichmäßiges Sprühen zu gewährleisten.

Reinheit: >99%, Sauerstoffgehalt <500 ppm, Vermeidung von Beschichtungsfehlern.

Morphologie: kugelförmig oder nahezu kugelförmig, was der Beschleunigung und Ablagerung förderlich ist.

4. Eigenschaften des Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzens (HVOF) mit Hartmetall

Hohe Geschwindigkeit, niedrige Hitze:

Die Flammgeschwindigkeit beträgt 500–1000 m/s, die kinetische Energie der Partikel ist hoch, die Temperatur jedoch relativ niedrig (1000–1500 °C), wodurch die Zersetzung von Hartmetallen (wie WC) vermieden wird.

Beschichtungseigenschaften:

Hohe Härte: WC-Co-Beschichtungshärte HV 800–1200.

Bindungsfestigkeit: 50–80 MPa, hauptsächlich mechanische Bindung, teilweise metallurgische Bindung.

Die Porosität ist extrem gering: <1–2 %, die Beschichtung ist dicht und weist eine starke Korrosionsbeständigkeit auf.

Oberflächenrauheit: Ra 3–6 μm , kann durch Polieren optimiert werden.

Geringe Oxidation:

Der Überschallflammenstrom verringert die Lufteinschlüsse und die Beschichtung weist einen niedrigen Oxidgehalt auf (z. B. geringere Zersetzung von WC in W_2C oder WO_3).

Geringer Einfluss des Substrats:

Die Substrattemperatur beträgt <200 °C, die Wärmeeinflusszone (WEZ) ist klein und es ist keine Wärmenachbehandlung erforderlich.

5. Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzen (HVOF) von Hartmetall

HVOF wird häufig im Bereich Hartmetall eingesetzt, hauptsächlich um die Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit des Substrats zu verbessern:

Luft- und Raumfahrt:

Beschichtungen für Flugzeugfahrwerke und Turbinenschaufeln zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

Industrielle Ausrüstung:

Oberflächenbeschichtung von Schneidwerkzeugen, Matrizen, Ventilen und Pumpenkörpern zur Verlängerung der Lebensdauer.

Energiewirtschaft:

Öl- und Gasbohrgeräte (wie Bohrkronen) und Kesselrohrbeschichtungen zum Schutz vor Erosion und Hochtemperaturoxidation.

Papierherstellung und Druck:

Eine Walzenoberflächenbeschichtung (z. B. WC-Co) verbessert die Verschleißfestigkeit und Oberflächenqualität.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Konkretes Beispiel:

Das Aufsprühen einer WC-12Co-Beschichtung auf Ölbohrkronen hat eine Härte von HV 1000–1200 und erhöht die Verschleißfestigkeit um das 4- bis 6-fache.

Die auf das Flugzeugfahrwerk aufgesprühte Cr₃ C₂- NiCr- Beschichtung weist eine Temperaturbeständigkeit von bis zu 800 °C und eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit auf.

6. Vor- und Nachteile des Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzens (HVOF) mit Hartmetall

Vorteile

Hohe Beschichtungsqualität: Porosität <1–2 %, hohe Bindungsstärke, hervorragende Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit.

Geringe Oxidation: Hohe Flammengeschwindigkeit, reduzierte Oxidation, geeignet für Hartmetall (wie WC-Co).

Geringe thermische Belastung: niedrige Substrattemperatur, geeignet für Präzisionsteile.

Hohe Effizienz: Sprühgeschwindigkeit 0,5–1 m²/h, geeignet für die industrielle Produktion.

Nachteile

Hohe Ausrüstungskosten: HVOF-Ausrüstung kostet etwa 1–2 Millionen RMB und ist komplex in der Wartung.

Hohe Pulveranforderungen: Es wird hochfestes Pulver (wie WC-Co) benötigt, da es sonst zu Brüchen kommen kann.

Starker Lärm: Überschallflammen erzeugen einen hohen Lärmpegel (> 120 dB), sodass Schallschutzvorrichtungen erforderlich sind.

einer Beschichtungsdicke von >400 µm kommt es leicht zur Rissbildung und es muss in Schichten gespritzt werden.

7. Vergleich des Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzens (HVOF) mit Hartmetall und anderen thermischen Spritztechnologien

Vergleich mit APS (Plasmaspritzen)

HVOF: Geringere Porosität (<1–2 % vs. 2–5 %), weniger Oxidation und höhere Bindungsstärke (50–80 MPa vs. 30–70 MPa).

APS: Höhere Temperatur (15.000 °C), für eine größere Bandbreite an Materialien geeignet, aber stärkere Oxidation.

Vergleich mit DGS (High Explosive Spraying)

HVOF: Höhere Effizienz (0,5–1 m²/h gegenüber 0,1–0,3 m²/h) und geringere Gerätekosten.

DGS: Höhere Beschichtungshärte (HV 1100–1400 vs. 800–1200), aber komplizierter in der Handhabung.

Die HVOF-Technologie (High Velocity Oxygen Fuel Spray) sprüht Hartmetallpulver durch einen Überschallflammenstrom auf das Substrat und erzeugt so eine Beschichtung mit hoher Härte und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

geringer Porosität, hoher Beschichtungsqualität, geringer Oxidation und geringer thermischer Belastung. Sie wird häufig in der Luft- und Raumfahrt, im Industriebau und in der Energiewirtschaft eingesetzt. Prozessoptimierungen (z. B. Anpassung des Brennstoffverhältnisses und des Sprühabstands) können die Leistung weiter verbessern.

Anhang:

Vakuumplasmaspritzen mit Hartmetall (VPS , Vakuumplasmaspritzen)

1. Definition des Hartmetall-Vakuumplasmaspritzens (VPS)

Vakuumplasmaspritzen (VPS) von Hartmetall ist ein thermisches Spritzverfahren, bei dem Hartmetallpulver (z. B. WC-Co, Cr_3C_2 - NiCr) mithilfe einer Plasmaflamme im Vakuum oder bei niedrigem Druck geschmolzen oder halbgeschmolzen wird. Anschließend wird es auf die Substratoberfläche gespritzt, um eine hochharte, porenarme, nicht oxidierende und verschleißfeste Beschichtung zu bilden. Die VPS-Technologie wurde in den 1970er Jahren entwickelt und findet aufgrund ihrer extrem hohen Beschichtungsqualität breite Anwendung in anspruchsvollen Bereichen.

2. Prinzip des Hartmetall-Vakuumplasmaspritzverfahrens (VPS)

Die VPS-Technologie basiert auf den Eigenschaften der Hochtemperatur- und Vakuumumgebung von Plasma. Die wichtigsten Schritte sind wie folgt:

Vakuumumgebung:

Das Sprühen erfolgt in einer Vakuumkammer mit einem auf 50–200 Pa (0,05–0,2 mbar) geregelten Druck und die Luft wird mit einer Vakuumpumpe (mechanische Pumpe + Diffusionspumpe) abgesaugt, um Sauerstoff und Feuchtigkeit zu reduzieren.

Plasmaerzeugung:

Mithilfe einer Plasmaspritzpistole wird ein Inertgas (z. B. Argon Ar) oder ein Mischgas (z. B. $\text{Ar}+\text{H}_2$) eingeleitet und das Gas durch einen Hochfrequenzlichtbogen (Spannung 50–100 V, Stromstärke 600–1200 A) ionisiert, um ein Hochtemperaturplasma (Temperatur 10.000–15.000 °C) zu bilden.

Pulvererhitzung und -beschleunigung:

Hartmetallpulver (Partikelgröße 10–50 μm) wird über eine Pulverzufuhr in die Plasmaflamme eingespritzt , schnell bis zum geschmolzenen oder halbgeschmolzenen Zustand erhitzt und auf 300–600 m/s beschleunigt.

Belagsbildung:

Die geschmolzenen Partikel treffen auf die Substratoberfläche, kühlen schnell ab und erstarren zu einer „Spritzer“-Beschichtung (Splats), die sich zu einer dichten Beschichtung mit einer Dicke von typischerweise 50–500 μm stapelt .

Atmosphärenkontrolle:

Die Vakuumumgebung (<200 Pa) ist nahezu sauerstofffrei, was eine Oxidation der Beschichtung (z. B. Zersetzung von WC in W_2C oder WO_3) verhindert .

3. Eigenschaften von Hartmetall-Vakuumplasmaspritz-Goldpulver (VPS)

Häufig verwendete Materialien:

WC-Co (Kobaltgehalt 6–12 % Gew.) : hohe Härte und Verschleißfestigkeit, wird häufig in verschleißfesten Beschichtungen verwendet.

Cr_3C_2 - NiCr : Beständig gegen Oxidation und Korrosion bei hohen Temperaturen, geeignet für

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Umgebungen mit hohen Temperaturen.

TiC -Ni: Hohe Härte, geeignet für besondere Anforderungen an die Verschleißfestigkeit.

Pulverbedarf:

Partikelgröße: 10–50 μm , um ein gleichmäßiges Sprühen zu gewährleisten.

Reinheit: >99,5 %, Sauerstoffgehalt <300 ppm, Vermeidung von Beschichtungsfehlern.

Morphologie: Kugelförmig oder nahezu kugelförmig, was der Beschleunigung und Ablagerung förderlich ist.

4. Eigenschaften des Hartmetall-Vakuumplasmaspritzens (VPS)

Keine Oxidation:

Durch die Vakuumumgebung (<200 Pa) wird die Oxidation verhindert und die Beschichtung ist frei von Oxiden (wie WO_3), wodurch die ursprünglichen Eigenschaften des Hartmetalls erhalten bleiben.

Beschichtungsleistung:

Hohe Härte: WC-Co-Beschichtungshärte HV 1000–1300.

Bindungsstärke: 60–90 MPa, teilweise metallurgische Bindung, stärkere Bindung.

Die Porosität ist äußerst gering: <0,5–1 %, die Beschichtung ist dicht und weist eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit auf.

Oberflächenrauheit: R_a 2–4 μm , geringere Nachbearbeitung erforderlich.

Hohe Temperaturbeständigkeit:

Die Plasmatemperatur beträgt 10.000–15.000 °C, wodurch hochschmelzende Hartmetalle (wie WC, Schmelzpunkt 2870 °C) geschmolzen werden können.

Geringer Einfluss des Untergrundes:

Die Substrattemperatur kann auf <200 °C geregelt werden und die Wärmeeinflusszone (WEZ) ist klein, was für Präzisionsteile geeignet ist.

Komplexer Prozess:

Es sind eine Vakuumkammer und ein Vakuumsystem erforderlich, was den Vorgang kompliziert und die Kosten hoch macht.

5. Anwendung des Vakuumplasmaspritzens (VPS) für Hartmetall

Die Anwendung von VPS im Bereich Hartmetall konzentriert sich hauptsächlich auf Szenarien mit hoher Leistung und hoher Zuverlässigkeit:

Luft- und Raumfahrt:

Beschichtungen für Turbinenschaufeln und Brennkammern, beständig gegen Verschleiß bei hohen Temperaturen und Oxidation.

Beschichtung für Raumfahrzeugkomponenten, korrosionsbeständig in Hochtemperatur- und Vakuumumgebungen.

Medizinprodukte:

Oberflächenbeschichtung künstlicher Gelenke (z. B. Hüftgelenke) zur Verbesserung der Verschleißfestigkeit und Biokompatibilität.

Energiewirtschaft:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beschichtungen für Kernkraftanlagen und Gasturbinen zum Schutz vor Korrosion und Verschleiß bei hohen Temperaturen.

High-End-Industrie:

Präzisionsformen und Schneidwerkzeugbeschichtungen zur Verlängerung der Lebensdauer.

Konkretes Beispiel:

Das Aufsprühen einer WC-12Co-Beschichtung auf Turbinenschaufeln für Flugzeuge hat eine Härte von HV 1100–1300, die Verschleißfestigkeit ist um das 5- bis 10-fache verbessert und es treten keine Oxidfehler auf.

Die Cr_3C_2 -NiCr-Beschichtung wird auf Kernkraftventile aufgesprüht, hält Temperaturen von 900 °C stand und verfügt über eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit.

6. Vor- und Nachteile des Hartmetall-Vakuumpasmaspritzens (VPS)

Vorteile:

Die Beschichtungsqualität ist extrem hoch: Porosität <0,5–1 %, keine Oxidation, optimale Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit.

Hohe Bindungsfestigkeit: 60–90 MPa, teilweise metallurgische Bindung, die Beschichtung lässt sich nicht leicht ablösen.

Anwendbar auf Szenarien mit hohen Anforderungen: Geeignet für Hochleistungsbereiche wie Luft- und Raumfahrt, Medizin usw.

Geringe thermische Belastung: niedrige Substrattemperatur, geeignet für Präzisionsteile.

Nachteile:

Hohe Gerätekosten: Das VPS-System (einschließlich der Vakuumkammer) kostet etwa 3–5 Millionen RMB und ist komplex in der Wartung.

Geringe Effizienz: Staubsaugen ist erforderlich (jeder Vorgang dauert 30–60 Minuten), Sprühgeschwindigkeit beträgt etwa 0,3–0,5 m²/h.

Komplexer Vorgang: Vakuumgrad und Atmosphäre müssen streng kontrolliert werden und die technischen Fähigkeiten des Bedieners müssen hoch sein.

Begrenzte Substratgröße: Aufgrund der Größe der Vakuumkammer ist das Besprühen großer Teile schwierig.

7. Vergleich zwischen Hartmetall-Vakuumpasmaspritzern (VPS) und anderen thermischen Spritztechnologien

Vergleich mit APS (Plasmaspray):

VPS: Keine Oxidation, geringere Porosität (<0,5–1 % vs. 2–5 %), höhere Bindungsstärke (60–90 MPa vs. 30–70 MPa).

APS: Funktioniert in der Atmosphäre, ist kostengünstig, hat aber eine stärkere Oxidationswirkung.

Im Vergleich zu HVOF (High Velocity Oxygen Fuel Spray):

VPS: Die Beschichtung ist dichter und oxidationsfrei, aber die Kosten sind hoch und die Effizienz gering.

HVOF: Die Porosität ist etwas höher (<1–2 %), aber die Gerätekosten sind niedrig (1–2 Millionen Yuan) und die Effizienz hoch.

Im Vergleich zu DGS (High Explosive Spraying):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VPS: Keine Oxidation, geeignet für Szenarien mit höherer Nachfrage, aber geringere Effizienz.
DGS: Ähnliche Porosität (<1 %), aber möglicherweise Spuren von Oxidation und etwas niedrigere Gerätekosten (2–3 Millionen Yuan).

Die Hartmetall-Vakuumplasmaspritztechnologie (VPS) nutzt Plasma, um Hartmetallpulver in einer Vakuumumgebung zu spritzen und so eine hochharte, nicht oxidierende und porenarme Beschichtung zu erzeugen. Zu den Merkmalen gehören eine extrem hohe Beschichtungsqualität und geringe thermische Belastung. Die Technologie wird häufig in der Luft- und Raumfahrt, der Medizin und der High-End-Industrie eingesetzt. Allerdings sind die Gerätekosten hoch und die Effizienz gering, was für anspruchsvolle Anwendungen ungeeignet ist. Prozessoptimierungen (z. B. Anpassung des Vakuumgrads und des Spritzabstands) können die Leistung weiter verbessern.

Vergleichstabelle der Hartmetall-Spritztechnologien

Technologienamen	Plasmaspritzen (APS)	Hochexplosives Sprühen (DGS)	Hochgeschwindigkeits-Sauerstoff-Brennstoff-Sprühverfahren (HVOF)	Vakuum-Plasmaspritzen (VPS)
Definition	wird mit einer Plasmaflamme in der Atmosphäre aufgesprüht, um eine verschleißfeste Beschichtung zu bilden.	Die Hartlegierung wird durch eine Detonationsreaktion mit Überschallgeschwindigkeit versprüht, um eine Beschichtung mit hoher Härte zu bilden.	Die Beschichtung mit geringer Porosität wird durch Überschallspritzen von Hartmetall durch die Verbrennung von Brennstoff und Sauerstoff gebildet.	wird in einer Vakuumumgebung mit einer Plasmaflamme aufgesprüht, um eine oxidationsfreie Beschichtung zu bilden.
Verfahrensprinzip	Ar- oder Ar + H ₂ -Ionisierung, Temperatur 10.000–15.000 °C. Pulver (10–50 µm) wird auf 300–600 m/s beschleunigt. Atmosphärischer Betrieb, Ar - Abschirmung.	O ₂ + C ₂ H ₂ -Detonation, Temperatur 4000 °C, Stoßwelle 3500 m/s. Pulver (10–50 µm) wird auf 800–1200 m/s beschleunigt. Frequenz 1-10 Hz, N ₂ - Spülung.	O ₂ + Kerosin/Propan-Verbrennung, Temperatur 2800–3200 °C. Pulver (10–45 µm) wird auf 500–1000 m/s beschleunigt. Lavalldüse.	Vakuum (50-200 Pa), Ar- oder Ar+H ₂ - Ionisierung, Temperatur 10.000-15.000 °C. Pulver (10–50 µm) wird auf 300–600 m/s beschleunigt. Anaerobe Umgebung.
Merkmale	Starke Hochtemperaturbeständigkeit, Härte HV 900–1200. Porosität 2–5 %, Bindungsstärke 30–70 MPa. Oxidationsgefahr.	Hohe Temperatur und hoher Druck, Härte HV 1100-1400. Porosität <1 %, Bindungsstärke 70–100 MPa. Geringe Wärmezufuhr.	Hohe Geschwindigkeit und geringe Hitze, Härte HV 800–1200. Porosität <1–2 %, Bindungsstärke 50–80 MPa. Geringe Oxidation.	Keine Oxidation, Härte HV 1000-1300. Porosität <0,5–1 %, Bindungsstärke 60–90 MPa. Hohe Temperaturbeständigkeit.
Anwendung	Schneidwerkzeuge, Ventile, Pumpenkörper. Turbinenschaufeln, Kesselrohre. Beispiel: Bohrer WC-12Co, Verschleißfestigkeit um das 3-5-fache erhöht.	Turbinenschaufeln, Kompressorschaufeln. Schneidwerkzeuge, Bohrkronen für die Öl- und Gasindustrie. Beispiel: WC-12Co für Turbinenschaufeln, Verschleißfestigkeit um das 5- bis 8-fache erhöht.	Fahrwerk, Turbinenblätter. Schneidwerkzeuge, Bohrgeräte, Walzen. Beispiel: Bohrer WC-12Co, Verschleißfestigkeit um das 4-6-fache erhöht.	Turbinenschaufeln, Raumfahrzeugkomponenten. Medizinische Gelenke, Kernkraftausrüstung. Beispiel: WC-12Co für Turbinenschaufeln, Verschleißfestigkeit um das 5-10-fache erhöht.
Vorteile und Nachteile	Vorteile: breite Anwendbarkeit, hohe Effizienz (0,5–1 m ² /h), moderate Kosten (500.000–1 Million Yuan). Nachteile: hohe Oxidation,	Vorteile: hohe Beschichtungsqualität, geringe thermische Belastung, weniger Nachbearbeitung.	Vorteile: hohe Beschichtungsqualität, geringe Oxidation, hohe Effizienz (0,5-1 m ² /h). Nachteile: hohe Kosten	Vorteile: Extrem hohe Beschichtungsqualität, keine Oxidation, für hohe Ansprüche geeignet. Nachteile: hohe Kosten (3–5

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

	Porosität	erfordert	Nachteile:	komplexe	(1–2 Millionen Yuan),	Millionen Yuan),	geringe
	Nachbearbeitung,	thermische	Ausrüstung (2–3 Millionen	hohe		Effizienz (0,3–0,5	m²/h),
	Effekte.		Yuan), geringe	Effizienz	Geräuschentwicklung		begrenzte Größe.
			(0,1–0,3 m²/h),	hohes	und begrenzte Dicke.		
			Risiko.				

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

Anhang:

Carbide Interface Engineering

1. Bedeutung und Bedeutung der Hartmetall-Grenzflächentechnik

Hartmetall (WC-Co) mit Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase wird aufgrund seiner hervorragenden Härte (HV 1000–1800), Verschleißfestigkeit und Hochtemperaturstabilität häufig in Hochleistungsbereichen wie Flugzeugdüsen, Schneidwerkzeugen und Elektroden für Elektrolysezellen eingesetzt. Die Leistung hängt jedoch nicht nur vom Substratmaterial, sondern auch von den Grenzflächeneigenschaften (wie WC/Co-Grenzfläche oder Beschichtung/Substrat-Grenzfläche) ab. Die Grenzfläche ist ein mikroskopischer Bereich zwischen verschiedenen Phasen (wie WC und Co, Beschichtung und Substrat) innerhalb oder auf der Oberfläche des Materials. Ihre chemische Zusammensetzung, Mikrostruktur und ihr mechanisches Verhalten wirken sich direkt auf die Gesamtleistung des Materials aus. Unter extremen Bedingungen, wie etwa der Hochtemperaturerosion (1000–1600 °C) von Flugzeugdüsen oder den stark korrosiven Umgebungen (pH 1–14) von Elektrolysezellen, können Grenzflächendefekte (wie etwa Poren, Spannungskonzentration und unzureichende Bindungsstärke) zu erhöhtem Verschleiß, Ablösen der Beschichtung oder verringerter katalytischer Effizienz führen.

Die Grenzflächentechnik von Hartmetall nutzt physikalische, chemische oder mechanische Methoden, um die Mikrostruktur, die chemische Bindung und die mechanischen Eigenschaften der Grenzfläche präzise zu steuern und so Funktionalität und Haltbarkeit des Materials zu optimieren. Ziel dieser Technologie ist es, eine starke und stabile Grenzfläche zu schaffen, die Synergie zwischen Substrat und Beschichtung sowie zwischen verschiedenen Phasen zu verbessern und so die Leistung von Hartmetall in komplexen Umgebungen zu steigern. Beispielsweise kann die Grenzflächentechnik bei Flugzeugdüsen die Beschichtungshaftung verbessern und die Düsenlebensdauer um 30–50 % verlängern; bei Elektrolyseurelektroden kann die Optimierung der katalytischen Aktivität der Grenzfläche die Effizienz der Wasserstoffentwicklung um 10–20 % steigern. Die Grenzflächentechnik ist nicht nur der Schlüssel zu bahnbrechenden Fortschritten in der Hartmetallleistung, sondern auch eine wichtige Triebkraft für den technologischen Fortschritt in der Luftfahrt-, Energie- und Fertigungsindustrie.

2. Das Hauptziel der Schnittstellentechnik

Der Kern der Grenzflächentechnik besteht darin, die grenzflächenbezogenen Probleme von Hartmetall in praktischen Anwendungen zu lösen. Zu den Hauptzielen gehören:

Verbessern Sie die Bindungsstärke der Schnittstelle: Verbessern Sie die Haftung der Beschichtung/Substrat- oder WC/Co-Schnittstelle (z. B. > 50 N), verhindern Sie Abblättern oder Risse und erfüllen Sie die Anforderungen an die Hochdruckerosion von Flugzeugdüsen.

Optimierung der Spannungsverteilung

$-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ vs. $\text{Al}_2\text{O}_3\text{ }8\times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}$) kann durch die Gestaltung eines Grenzflächengradienten oder die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Induktion von Druckspannungen gemildert werden.

Verbessern Sie die Korrosionsbeständigkeit

Konstruieren Sie eine dichte Schnittstelle, um korrosive Medien (wie Schwefelsäure und Kaliumhydroxid in der Elektrolysezelle) zu blockieren und die Korrosionsrate um 50–90 % zu reduzieren.

Verbessern Sie die katalytische Aktivität

In Elektrolyseurelektroden werden die aktiven Stellen durch Grenzflächen-Nanostrukturen erhöht, wodurch das Überpotential für die Wasserstoff-/Sauerstoffentwicklung (50–200 mV) reduziert wird.

Verlängern Sie die Lebensdauer

Durch eine umfassende Optimierung der Schnittstellenleistung kann die Lebensdauer von Teilen um 20–50 % verlängert werden, beispielsweise durch eine Erhöhung der Lebensdauer der Luftfahrt Düse von 5.000 Stunden auf 8.000 Stunden.

3. Wichtigste technische Methoden der Hartmetall-Grenzflächentechnik

prinzipieller, prozessualer und anwendungsbezogener Sicht ausführlich erläutert.

3.1 Schnittstellenstrukturdesign

Durch die Regulierung der Mikrostruktur der WC/Co-Grenzfläche wird der synergistische Effekt der inneren Phasen des Hartmetalls optimiert.

Korngrößenkontrolle

ultrafeines WC-Pulver (Partikelgröße 0,2–1 μm) verwendet und der Sinterprozess (1350–1450 $^{\circ}\text{C}$) optimiert, um die Korngrenzen der WC/Co-Grenzfläche gleichmäßiger zu gestalten und die Bindungsfestigkeit der Grenzfläche um 20 % zu erhöhen. Dieses Verfahren verbessert die Zähigkeit der Matrix und erfüllt die Anforderungen an die Schlagfestigkeit von Flugzeugdüsen.

Grenzflächendotierung

Die Einführung von Spurenzusätzen (wie Cr_3C_2 , VC) an der WC/Co-Grenzfläche hemmt das WC-Kornwachstum, bildet eine nanoskalige Grenzflächenschicht (Dicke 10–100 nm) und erhöht die Härte um 5–10 % (HV 1600–1800). Diese Technologie verbessert die Korrosionsbeständigkeit der Matrix in der Elektrode der Elektrolysezelle.

3.2 Optimierung der Beschichtungsgrenzfläche

Durch die Gestaltung der Übergangsschicht oder Grenzflächenstruktur zwischen der Beschichtung und dem Hartmetallsubstrat werden Haftung und Stabilität verbessert.

Gradientenbeschichtung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Durch die Abscheidung mehrlagiger Beschichtungen (z. B. TiN / TiCN / Al₂O₃) mittels PVD oder CVD werden der Wärmeausdehnungskoeffizient und die Härte Schicht für Schicht verändert, wodurch die Haftung um 30 % (> 60 N) verbessert wird. Bei Flugzeugdüsen reduzieren Gradientenbeschichtungen thermische Spannungsrisse und verlängern die Lebensdauer um 40 %.

Schnittstellenvorverarbeitung

Das Aufrauen der Substratoberfläche (Ra 0,8–2 µm) durch Sandstrahlen oder chemisches Ätzen erhöht den mechanischen Verzahnungseffekt und verbessert die Beschichtungshaftung um 20 %. Diese Methode gewährleistet die Langzeitstabilität von Elektrodenbeschichtungen in Elektrolysezellen (wie RuO₂).

Übergangsschichtdesign

ca. µm dicke Schicht zwischen Substrat und Beschichtung verbessert die chemische Bindung und reduziert die Grenzflächenspannung. Beispielsweise erhöht eine Ti-Übergangsschicht die Haftung bei einer PVD- TiN -Beschichtung auf 70 N.

3.3 Änderung der Matrixschnittstelle

Modifizieren Sie die WC/Co-Grenzfläche oder die Substratoberfläche direkt durch physikalische oder chemische Methoden, um die Leistung der Grenzfläche zu verbessern.

Ionenimplantation

Hochenergetische Ionen (wie N⁺ und C⁺) werden in die Substratoberfläche implantiert (Tiefe 0,1–1 µm), um eine gehärtete Grenzflächenschicht (Härte HV 1500–2000) zu bilden, die die Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit verbessert. In Elektroden von Elektrolysezellen erhöht die N⁺-Implantation die Effizienz der Chlorentwicklung um 15 %.

Modifikation der Laserschnittstelle

Der Laserstrahl schmilzt oder beaufschlagt die Substratoberfläche, wodurch eine nanoskalige Grenzflächenstruktur (Korngröße <100 nm) entsteht, die die Härte um 10 % (HV 1200–1600) erhöht. Diese Technologie reduziert den Reibungskoeffizienten (0,1–0,2) im Strömungskanal von Flugzeugdüsen.

Plasmabehandlung

Plasma (z. B. Argon, N₂) beschießt die Substratoberfläche, entfernt Oxide und erzeugt Druckspannungen. Dadurch erhöht sich die Festigkeit der Grenzflächenbindung um 20 %. In der Elektrolysezelle verbessert die Plasmabehandlung die Säurebeständigkeit der Beschichtung.

4. Anwendungsszenarien der Schnittstellentechnik

Die Grenzflächentechnik aus Hartmetall hat einen breiten Anwendungswert in Flugzeugdüsen, Elektrolysezellen und anderen Hochleistungsbereichen gezeigt:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Luftfahrt Düse

Gradientenbeschichtungen (wie TiN / Al₂O₃) optimieren die Grenzfläche zwischen Beschichtung und Substrat, verbessern die Haftung um 30 % und verlängern die Lebensdauer von Kraftstoffdüsen bei Hochgeschwindigkeits-Luftstromerosion um 40 % (von 5.000 auf 7.000 Stunden). Die Korngrößenkontrolle erhöht die Zähigkeit der WC/Co-Grenzfläche und erfüllt die Anforderungen an die thermische Ermüdungsbeständigkeit von Kühltüsen.

Elektrolyseurelektroden

Ionenimplantation und das Design der Übergangsschicht verbessern die katalytische Aktivität der Elektrodenschnittstelle, reduzieren das Überpotential der Wasserstoffentwicklung (100–150 mV) und erhöhen den Wirkungsgrad um 10–15 %. Beispielsweise verwendet der PEM- Elektrolyseur N⁺-implantierte WC-Co-Elektroden, was den Edelmetallanteil um 60 % reduziert und die Lebensdauer auf 15.000 Stunden erhöht.

Schneidwerkzeuge

Durch Grenzflächendotierung (wie etwa Cr₃C₂) wird die WC/Co-Grenzfläche optimiert, die Härte um 5 % und die Verschleißfestigkeit um 30 % erhöht, wodurch es für die Hochgeschwindigkeitszerspanung geeignet wird.

Bergbau-Spitzhacken

Durch die Laser-Schnittstellenmodifikation entsteht eine gehärtete Schicht, die die Verschleißfestigkeit um 20 % verbessert und die Lebensdauer verlängert.

Fall: Die Kraftstoffdüse des GE9X-Triebwerks verwendet eine PVD- TiN- Gradientenbeschichtung mit einer Grenzflächenhaftung von 70 N, einer um 30 % erhöhten Verschleißfestigkeit und einer verbesserten Verbrennungseffizienz.

5. Vorteile und Herausforderungen

5.1 Vorteile

Durchbruch in der Leistung

Durch die Grenzflächentechnik werden die Beschichtungshaftung (> 50 N), die Korrosionsbeständigkeit und die katalytische Aktivität deutlich verbessert, wodurch die Lebensdauer der Komponenten um 20–50 % verlängert und die Effizienz um 10–20 % gesteigert wird.

Kollaborative Optimierung

Durch die Regulierung der WC/Co- oder Beschichtung/Substrat-Grenzfläche wird der Synergieeffekt zwischen dem Substrat und der Funktionsschicht verstärkt, um den zusammengesetzten Arbeitsbedingungen von Flugzeugdüsen und Elektrolysezellen gerecht zu werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hohe Flexibilität

Von der Dotierung im Nanobereich bis hin zu Gradientenbeschichtungen kann die Technologie für verschiedene Anwendungen maßgeschneidert werden, beispielsweise für katalytische Schnittstellen in Elektrolyseuren oder verschleißfeste Schnittstellen in Düsen.

Feldübergreifende Anwendung

Die Technologie ist in vielen Bereichen wie der Luftfahrt, der Energiewirtschaft und der Fertigung anwendbar und weist einen umfassenden technischen Wert auf.

5.2 Herausforderungen

Prozesskomplexität

Die Schnittstellentechnik erfordert eine präzise Kontrolle der Mikrostruktur (wie etwa Korngröße und Dicke der Übergangsschicht) und stellt hohe Anforderungen an Ausrüstung und Verfahren (wie etwa PVD-Ausrüstung im Wert von 10 bis 30 Millionen RMB).

Hohe Kosten

Technologien wie Ionenimplantation und Lasermodifizierung weisen einen hohen Betriebsenergieverbrauch (500–1000 kWh/Charge) auf, was ihre Anwendung im großen Maßstab einschränkt.

Schnittstellenstabilität

Bei langfristig hohen Temperaturen oder korrosiven Umgebungen kann es zu einer Verschlechterung der Schnittstelle kommen (z. B. durch Ablösen der Beschichtung oder Deaktivierung der katalytischen Stelle), und das Schnittstellendesign muss optimiert werden.

Materialverträglichkeit

Die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten verschiedener Phasen können zu Rissen an der Grenzfläche führen und es müssen neue Übergangsmaterialien entwickelt werden.

Umweltauswirkungen

CVD und Ionenimplantation sind mit chemischen Gasen oder einem hohen Energieverbrauch verbunden und es sind umweltfreundliche Prozessverbesserungen erforderlich.

6. Zukünftige Entwicklungstrends

Um die Herausforderungen zu bewältigen und die Entwicklung der Hartmetall-Grenzflächentechnik voranzutreiben, können in Zukunft folgende Schwerpunkte gesetzt werden:

Multiskaliges Schnittstellendesign

Durch die Kombination von Dotierung im Nanobereich ($<100\text{ nm}$) und Übergangsschichten im Mikronbereich ($1\text{--}10\text{ }\mu\text{m}$) werden die Grenzflächenhaftung und Stabilität verbessert und die Haltbarkeit um 30–50 % erhöht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Grüne Schnittstellentechnologie

Entwickeln Sie PVD/CVD-Verfahren bei niedrigen Temperaturen (<500 °C) oder plasmagestützte Verfahren, um den Energieverbrauch um 30–50 % zu senken und die chemischen Emissionen zu verringern.

Intelligente Schnittstellenoptimierung

Mithilfe von KI und molekulardynamischer Simulation können wir die Spannungsverteilung an der Schnittstelle zwischen Schnittstelle und katalytischer Leistung vorhersagen und so den Forschungs- und Entwicklungszyklus um 30 % verkürzen.

Composite Function-Schnittstelle

Durch die Entwicklung katalytisch korrosionsbeständiger Verbundgrenzflächen (wie etwa MoN / TiN) kann die Effizienz von Elektrolyseurelektroden um 20 % gesteigert und der Einsatz von Edelmetallen um 70 % reduziert werden.

Integration der additiven Fertigung

Durch die Kombination eines 3D-gedruckten Hartmetallsubstrats mit einer In-situ-Schnittstellenmodifikation kann eine integrierte Herstellung komplexer Teile erreicht werden, wodurch die Kosten um 20–30 % gesenkt werden.

7. Technische Merkmale der Hartmetall-Grenzflächentechnik

Technologie	Wirkmechanismus	Typische Anwendung	Hauptvorteile	Haupteinschränkungen	Anwendungseffekt
Korngrößenkontrolle	Optimierung der WC/Co-Grenzflächenkorngrößen	Düse, Schneider	Zähigkeit +20 %, Härte +5 %	Der Sinterprozess ist kompliziert	Düsenschlagfestigkeit +30 %
Grenzflächendotierung	Einführung von Cr ₃ C ₂ und VC	Elektrode, Pickel	Härte +5–10 %, Korrosionsbeständigkeit	Schwierigkeiten bei der Kontrolle von Zusatzstoffen	Elektrodenkorrosionsbeständigkeit +20 %
Gradientenbeschichtung	PVD/CVD-Mehrschichtübergang	Düse, Elektrode	Haftung +30 %, thermische Belastbarkeit	Hohe Gerätekosten	Düsenlebensdauer +40 %
Schnittstellenvorverarbeitung	Sandstrahlen, chemisches Ätzen	Elektrode, Werkzeug	Klebkraft +20 %, einfacher Prozess	Erhöhte Oberflächenrauheit	Elektrodenstabilität +25 %
Ionenimplantation	N ⁺ , C ⁺	Elektrode,	Katalytische	Begrenzte Tiefe	Effizienz der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	Einbettungsschnittstelle	Düse	Aktivität +15 %, keine Schnittstelle	und hohe Kosten	Wasserstoffentwicklung +10 %
Lasermodifikation	Nanoskalige Grenzflächenhärtung	Düse, Pickel	Reibungskoeffizient 0,1–0,2, hohe Präzision	Hoher Energieverbrauch	Kanalverschleißfestigkeit +20 %
Plasmabehandlung	Entfernen von Oxiden, Druckspannungen	Elektrode, Tank	Klebkraft +20 %, Säurebeständigkeit	Komplexe Ausrüstung	Elektrodenkorrosionsbeständigkeit +30 %

veranschaulichen:

Wirkungsmechanismus: Übersicht über den Kernmechanismus der Technologie.

Typische Anwendungen: Luftfahrtdüsen, Elektrolyseure usw.

Vor- und Nachteile: Vergleichen Sie Leistung und Einschränkungen.

Anwendungseffekt: Hervorheben des Beitrags in Düse und Elektrolysezelle.

Datenquelle: USGS-Bericht 2024 und technische Standards für Hartmetall.

Die Grenzflächentechnik von Hartmetall bietet bahnbrechende Lösungen für Hochleistungsanwendungen wie Flugzeugdüsen und Elektroden für Elektrolysezellen durch präzise Steuerung der Mikrostruktur und Eigenschaften der WC/Co-Grenzfläche sowie der Beschichtungs-/Substrat-Grenzfläche. Gradientenbeschichtung, Ionenimplantation und andere Technologien verbessern die Grenzflächenhaftung, Korrosionsbeständigkeit und katalytische Aktivität deutlich, verlängern die Düsenlebensdauer um 40 % und steigern die Elektrolyseeffizienz um 10–20 %. Obwohl Prozesskomplexität, Kosten und Grenzflächenstabilität weiterhin Herausforderungen darstellen, wird die Integration von Multiskalendesign, umweltfreundlichen Prozessen und intelligenter Optimierung die Technologie zu neuen Höhen führen. Die Grenzflächentechnik ist nicht nur der Schlüssel zur Leistungssteigerung von Hartmetall, sondern verleiht auch der nachhaltigen Entwicklung in den Bereichen Luftfahrt, Energie und Fertigung starke Impulse und verdeutlicht die tiefe Synergie von Materialwissenschaft und Ingenieur Anwendungen.

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

Anhang:

Technologie zur Oberflächenmodifizierung mit Hartmetall

1. Bedeutung und Bedeutung der Hartmetall-Oberflächenmodifizierung

Hartmetall (WC-Co) besteht aus Wolframkarbid (WC) als Hartmatrix und Kobalt (Co) als Bindephase. Dank seiner hervorragenden Härte (HV 1000–1800), Verschleißfestigkeit und Hochtemperaturstabilität ist es zu einem Kernwerkstoff in Hochleistungsbereichen wie Schneidwerkzeugen, Bergbaumeißeln und Flugzeugdüsen geworden. Unter extremen Arbeitsbedingungen wie Hochtemperatur-Gaserosion (1000–1600 °C), Hochdruckeinwirkung (10–30 MPa) oder Kraftstoffsulfidkorrosion an Flugzeugdüsen kann es jedoch zu Verschleiß, Oxidation oder Ermüdungsbrüchen an der Oberfläche von Hartmetall kommen, was seine Lebensdauer und Zuverlässigkeit einschränkt. Bei der Oberflächenmodifizierungstechnologie von Hartmetall werden physikalische, chemische oder mechanische Mittel eingesetzt, um die chemische Zusammensetzung, Mikrostruktur oder die physikalischen Eigenschaften der Oberflächenschicht präzise zu steuern und so die Oberflächenleistung deutlich zu verbessern, während die hervorragenden mechanischen Eigenschaften des Matrixmaterials erhalten bleiben. Diese Technologie ist nicht nur der Schlüssel zur Verlängerung der Lebensdauer von Teilen, sondern auch eine wichtige Triebkraft für den technologischen Fortschritt in Branchen wie der Luftfahrt und der Fertigung.

Das Hauptziel der Oberflächenmodifizierung besteht darin, die Leistung von Hartmetall in bestimmten Umgebungen zu optimieren. Bei Flugzeugdüsen beispielsweise kann eine Oberflächenmodifizierung die Verschleißfestigkeit erhöhen, um der Reibung durch schnelle Luftströme standzuhalten, die Korrosionsbeständigkeit gegen chemische Erosion durch Treibstoff verbessern oder die Hochtemperaturbeständigkeit zur Anpassung an extreme Bedingungen in der Brennkammer erhöhen. Diese Verbesserungen verlängern nicht nur die Lebensdauer der Düse (von 5.000 auf 8.000 Stunden), sondern steigern auch die Verbrennungseffizienz (5–10 %) und tragen so zur Energieeinsparung, Emissionsreduzierung und Leistungsoptimierung von Flugzeugtriebwerken bei. Darüber hinaus kann die Oberflächenmodifizierungstechnologie den Anforderungen diverser Anwendungen wie Schneidwerkzeugen und Formen gerecht werden, indem sie den Reibungskoeffizienten senkt oder die Ermüdungsbeständigkeit erhöht, und stellt damit ihren vielfältigen technischen Wert unter Beweis? web :9,23 ? .

2. Hauptansätze der Hartmetall-Oberflächenmodifizierungstechnologie

Technologien zur Oberflächenmodifizierung von Hartmetall lassen sich in drei Kategorien einteilen: Oberflächenbeschichtung, chemische Oberflächenmodifizierung und mechanische Oberflächenmodifizierung. Jede Technologie verleiht der Hartmetalloberfläche durch unterschiedliche Wirkmechanismen spezifische Funktionen, um den Herausforderungen komplexer Arbeitsbedingungen gerecht zu werden. Im Folgenden werden die Merkmale der einzelnen Technologien im Hinblick auf Prozessprinzipien, Anwendungsszenarien und Auswirkungen ausführlich erläutert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1 Oberflächenbeschichtungstechnologie: Aufbau einer Schutzbarriere

Bei der Oberflächenbeschichtung werden eine oder mehrere Schichten Funktionswerkstoffe (wie Keramik, Metalle oder Verbundwerkstoffe) auf die Oberfläche von Hartmetall aufgebracht, um eine Schutzbarriere für das Substrat zu schaffen und so die Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit deutlich zu verbessern. Diese Technologie wird insbesondere bei Flugzeugdüsen eingesetzt, da sie Erosion durch hohe Temperaturen und chemische Korrosion wirksam entgegenwirkt.

Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD)

PVD nutzt physikalische Prozesse (wie Sputtern oder Verdampfen) in einer Vakuumumgebung, um Beschichtungsmaterialien (wie Titannitrid TiN und Aluminiumoxid Al_2O_3) in atomarer oder molekularer Form auf der Oberfläche von Hartmetall abzuscheiden und einen Film mit einer Dicke von 1–10 μm zu bilden. Die PVD - Prozesstemperatur ist niedrig (200–500 $^{\circ}\text{C}$), wodurch eine Verschlechterung der Substratleistung vermieden wird. Die Beschichtungshärte kann HV2000–3000 erreichen und weist eine starke Haftung (>50 N) auf. In Flugzeugdüsen können TiN - Beschichtungen die Verschleißfestigkeit von Treibstoffdüsen deutlich verbessern und ihre Lebensdauer bei hoher Luftstromreinigung um 30 % verlängern. PVD-Beschichtungen sind jedoch dünn und können sich bei extremen Stößen ablösen, was ihre Anwendung bei Schwerlastbedingungen einschränkt.

Chemische Gasphasenabscheidung (CVD)

CVD wandelt gasförmige Vorläufer (wie Titan-tetrachlorid TiCl_4) in feste Beschichtungen (wie Titancarbid TiC , Al_2O_3) mit einer Dicke von 5–20 μm wird durch chemische Reaktionen bei hohen Temperaturen (800–1000 $^{\circ}\text{C}$) hergestellt. CVD-Beschichtungen sind dick und dicht und eignen sich besonders für Hochtemperaturumgebungen, wie beispielsweise die Al_2O_3 -Beschichtung von Kühldüsen für Turbofan-Triebwerke, die hohen Temperaturen von 1500 $^{\circ}\text{C}$ standhält und oxidativer Korrosion widersteht. Hochtemperaturprozesse können jedoch zur Erweichung der Kobaltphase des Substrats führen, die Prozesskontrolle erschweren und hohe Anlagenkosten (ca. 10–30 Millionen RMB) verursachen.

durch Aufspritzen geschmolzener oder halbggeschmolzener Materialien (wie WC-Co, Chromcarbid Cr_3C_2) bei hoher Geschwindigkeit eine 50–500 μm **dicke Beschichtung auf die Oberfläche aufgebracht**

. Diese Technologie eignet sich für große Teile, wie beispielsweise die Öffnung von Gasturbinendüsen, und ihre dicke Beschichtung kann der Hochgeschwindigkeits-Gaserosion wirksam widerstehen. Die thermisch gespritzte Beschichtung weist jedoch eine geringe Bindungsfestigkeit (20–40 MPa) und eine raue Oberfläche (R_a 2–5 μm) auf, die eine Nachbearbeitung erfordert, um die Präzisionsanforderungen von Flugzeugdüsen (wie $R_a < 0,4 \mu\text{m}$) zu erfüllen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.2 Chemische Oberflächenmodifikation: Umgestaltung der Oberflächenstruktur

Die chemische Oberflächenmodifizierung verbessert die Oberflächeneigenschaften von Hartmetall durch die Einführung neuer Elemente oder die Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Oberflächenschicht. Dieses Verfahren wirkt direkt auf die Materialoberfläche und bildet eine modifizierte Schicht, die sich nahtlos mit dem Substrat verbindet. Dies eignet sich besonders für hochpräzise Teile.

Bei der Implantation

werden hochenergetische Ionenstrahlen (z. B. Stickstoff N^+ , Kohlenstoff C^+) auf die Oberfläche geschossen. Die Ionen werden in die Oberflächenschicht (Tiefe 0,1–1 μm) eingebettet, wodurch gehärtete Verbindungen (z. B. WN, WC) entstehen und die Härte (HV 1500–2000) sowie die Verschleißfestigkeit verbessert werden. Die Ionenimplantation weist keine sichtbare Beschichtungsgrenzfläche auf und erhält die Eigenschaften des Substrats. Sie eignet sich zur verschleißfesten Verstärkung der Mikroporenoberfläche von Flugzeugdüsen, wobei die Verschleißfestigkeit um 20 % verbessert werden kann. Die begrenzte Modifikationstiefe und die hohen Gerätekosten (ca. 10 Millionen RMB) beschränken jedoch die Anwendung auf großflächige Teile.

Chemische Wärmebehandlung (Aufkohlen, Nitrieren) Bei

der chemischen Wärmebehandlung werden hohe Temperaturen (800–1000 °C) genutzt, um Kohlenstoff- oder Stickstoffatome in die Oberfläche einzudringen und eine harte Verbundschicht (Dicke 10–100 μm) zu bilden. Die Oberflächenhärte von nitriertem Hartmetall kann HV1500–2000 erreichen, und die Verschleißfestigkeit wird deutlich verbessert. Dies eignet sich für verschleißfeste Teile von Bergbaumeißeln oder Flugzeugdüsen. Hohe Temperaturen können jedoch die Zähigkeit der Matrix verringern, daher müssen die Prozessparameter präzise kontrolliert werden, um die Leistung auszugleichen.

2.3 Mechanische Oberflächenmodifikation: Optimierung von Morphologie und Spannung

Durch mechanische Oberflächenmodifikation wird die Oberflächenmorphologie oder der Spannungszustand durch physikalische Einwirkung verändert, um die Ermüdungs- oder Verschleißfestigkeit zu erhöhen. Diese Methode ist einfach durchzuführen, kostengünstig und für eine Vielzahl von Arbeitsbedingungen geeignet.

Kugelstrahlen:

Beim Kugelstrahlen werden Hochgeschwindigkeitsprojektilen (z. B. Stahl- oder Keramikugeln) auf die Oberfläche geschossen, wodurch Druckspannungen erzeugt und die Ermüdungsbeständigkeit verbessert wird. Kugelstrahlen kann die Lebensdauer von Düsenkanälen in Flugzeugen um 30 % verlängern und eignet sich besonders für Teile, die zyklischer thermischer Belastung ausgesetzt sind. Allerdings erhöht Kugelstrahlen die Oberflächenrauheit (R_a 0,8–2 μm), was die Fluideffizienz beeinträchtigen und ein anschließendes Polieren erforderlich machen kann.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bei der Laser-Oberflächenmodifizierung

wird die Oberfläche mithilfe eines Laserstrahls geschmolzen oder bearbeitet, um eine gehärtete Schicht (Tiefe 0,1–1 mm) oder Mikro-Nanostruktur zu bilden, die Härte zu erhöhen (HV 1200–1600) und den Reibungskoeffizienten zu senken (0,1–0,2). Auf der Oberfläche von Mikroporen in Flugzeugdüsen kann die Lasermodifizierung die Strömungsdynamik optimieren und den adhäsiven Verschleiß reduzieren. Lasergeräte sind jedoch teuer (ca. 5 Millionen Yuan) und verbrauchen viel Energie, daher muss der Prozess optimiert werden, um die Betriebskosten zu senken.

3. Anwendung der Hartmetall-Oberflächenmodifizierung in Flugzeugdüsen

Als Kernkomponenten von Flugzeugtriebwerken (Turbofans, Turbowellen) und Gasturbinen müssen Flugzeugdüsen auch bei hohen Temperaturen, hohem Druck und korrosiven Bedingungen stabil funktionieren. Die Oberflächenmodifizierung mit Hartmetall verbessert die Leistung und Lebensdauer der Düsen deutlich, indem sie Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit verbessert. Zum Beispiel:

Zapfpistole

eine PVD- TiN- Beschichtung aufgetragen, die die Verschleißfestigkeit um 30 % verbessert, die Lebensdauer von 5.000 Stunden auf 7.000 Stunden erhöht und die Verbrennungseffizienz um 5 % steigert.

Kühldüse

Die CVD-Al₂O₃ -Beschichtung wird für Kühllochdüsen von Turbofan-Triebwerken verwendet. Sie hält hohen Temperaturen von 1500 °C stand, reduziert Oxidationskorrosion und verlängert die Wartungszyklen um 30 %.

Düsenhals

Thermisch gespritzte WC-Co-Beschichtungen werden in Gasturbinendüsen verwendet, um der Hochgeschwindigkeits-Gaserosion standzuhalten und die Lebensdauer um 20 % zu verlängern. Oberfläche des Strömungskanals: Kugelstrahlen und Lasermodifizierung verbessern die Ermüdungsbeständigkeit des Strömungskanals, passen ihn an zyklische thermische Belastungen an und erhöhen die Lebensdauer um 30 %.

Diese Anwendungen verbessern nicht nur die Zuverlässigkeit der Düsen, sondern optimieren auch die Kraftstoffeffizienz und das Emissionsverhalten der Triebwerke und tragen so zur nachhaltigen Entwicklung der Luftfahrtindustrie bei. web:9 ? .

4. Vorteile und Grenzen der Oberflächenmodifizierungstechnologie mit Hartmetall

Die Technologie zur Oberflächenmodifizierung mit Hartmetall ermöglicht erhebliche Leistungsverbesserungen bei Hochleistungsteilen, weist jedoch auch gewisse Einschränkungen auf:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vorteile der Oberflächenmodifizierungstechnologie mit Hartmetall:

Leistungsoptimierung

Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit werden um 20–50 % verbessert, wodurch die Lebensdauer der Teile verlängert wird und sie rauen Arbeitsbedingungen wie beispielsweise in Flugzeugdüsen standhalten.

Untergrundschutz

Die Modifikation wirkt nur auf die Oberfläche und erhält die hervorragende Festigkeit (2000–2500 MPa) und Zähigkeit der WC-Co-Matrix.

Flexible Anpassung

Von Dünnschichtbeschichtungen (PVD) bis zu Dickschichten (Thermisches Spritzen), von gehärteten Schichten (Ionenimplantation) bis hin zur Mikro- und Nanostrukturierung (Laser) kann die Technologie entsprechend den Anforderungen ausgewählt werden.

Einschränkungen der Oberflächenmodifizierungstechnologie mit Hartmetall:

Hohe Kosten

Die Investitionen in die Ausrüstung sind groß (z. B. PVD/CVD-Ofen 10–30 Millionen RMB) und der Betriebsenergieverbrauch ist hoch (500–1000 kWh pro Charge).

Komplexer Prozess

Parameter (wie CVD-Temperatur und Ionenimplantationsdosis) müssen präzise kontrolliert werden, und der Oberflächenzustand des Substrats beeinflusst den Effekt.

Anwendbarkeitsbeschränkungen

Dünne Beschichtungen (PVD 1–10 μm) neigen bei starker Erosion zum Abblättern und die Tiefe der chemischen Veränderung (0,1–100 μm) reicht nicht aus, um langfristigen Verschleiß standzuhalten.

5. Herausforderungen der Hartmetall-Oberflächenmodifizierungstechnologie

Obwohl die Technologie zur Oberflächenmodifizierung mit Hartmetall in Bereichen wie Flugzeugdüsen großes Potenzial gezeigt hat, sind bei ihrer Förderung und Anwendung noch immer folgende Herausforderungen zu bewältigen:

Wirtschaftlich

Die Kosten für Hochleistungsgeräte und -prozesse schränken ihre Anwendung in kleinen und mittleren Unternehmen ein, insbesondere in der Massenproduktion, wo Leistung und Kosten in Einklang gebracht werden müssen.

Stabilität und Zuverlässigkeit

Die Beschichtungshaftung (20–50 MPa) oder die Gleichmäßigkeit der modifizierten Schicht wird durch die Sauberkeit und Rauheit der Substratoberfläche beeinflusst und die Vorbehandlungstechnologie muss verbessert werden.

Anpassungsfähigkeit an extreme Arbeitsbedingungen

Die Langzeitleistung von Flugzeugdüsen unter Hochtemperaturerosion und zyklischer Belastung muss noch nachgewiesen werden, und das Ablösen dünner Beschichtungen oder der Verschleiß

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

modifizierter Schichten sind die größten Engpässe.

Ökologische Nachhaltigkeit

Bei der CVD kommt es zu chemischen Gasemissionen, thermisches Spritzen und Lasermodifizierung verbrauchen viel Energie und es müssen umweltfreundliche Prozesse entwickelt werden, um den Umweltschutzanforderungen gerecht zu werden.

Materialverträglichkeit

Der Unterschied im Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen der modifizierten Schicht und der WC-Co-Matrix (z. B. Al_2O_3 $8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ gegenüber WC-Co $5-7 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$) kann zu thermischen Spannungsrissen führen und das Schnittstellendesign muss optimiert werden.

6. Zukünftige Entwicklungsrichtung der Hartmetall-Oberflächenmodifizierungstechnologie

Um die Herausforderungen zu meistern und den Anwendungswert der Oberflächenmodifizierungstechnologie mit Hartmetall weiter zu steigern, können in Zukunft Durchbrüche in den folgenden Bereichen erzielt werden:

Mehrschichtverbundbeschichtung

PVD/CVD-Mehrschichtstrukturen (wie TiN / Al_2O_3 / TiC) kombinieren hohe Härte und hohe Zähigkeit, verbessern die Verschleißfestigkeit um 50 % und die Abblätterungsfestigkeit um 30 % und erfüllen die komplexen Arbeitsbedingungen von Flugzeugdüsen.

Grüne Prozessinnovation

Fördern Sie Niedertemperatur-CVD ($<600^\circ\text{C}$) oder plasmaunterstütztes PVD, um den Energieverbrauch um 30–50 % zu senken; entwickeln Sie umweltfreundliche Vorläufer, um die chemischen Emissionen zu reduzieren.

Intelligentes Oberflächendesign

Durch Laser-Mikro-Nanostruktur oder selbstschmierende Beschichtungen (wie MoS_2 , DLC) kann der Reibungskoeffizient auf unter 0,1 gesenkt und dadurch die Effizienz der Düsenflüssigkeit verbessert werden.

Integration der additiven Fertigung

Durch die Kombination von 3D-gedruckten Hartmetallsubstraten mit Oberflächenmodifizierung (wie etwa In-situ-Lasermodifizierung) kann eine integrierte Herstellung komplexer Teile erreicht und die Kosten um 20–30 % gesenkt werden.

Datengetriebene Optimierung

Nutzen Sie künstliche Intelligenz und molekulardynamische Simulationen, um die Leistung und Lebensdauer von Beschichtungen vorherzusagen, den F&E-Zyklus um 30 % zu verkürzen und die Technologieiteration zu beschleunigen.

7. Zusammenfassung

Technische Eigenschaften der Hartmetall-Oberflächenmodifizierung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technologie	Wirkmechanismus	Typische Anwendungen	Hauptvorteile	Haupteinschränkungen	Flugzeugdüseneffekt
PVD	Physikalische Abscheidung dünner Filme 1–10	Schneidwerkzeuge, Düsenmikroporen	Hohe Härte HV2000–3000, Niedertemperaturverfahren	Dünne Beschichtung, schwache Schlagfestigkeit	Verschleißfestigkeit der Kraftstoffdüse +30 %, Lebensdauer 7000 Stunden
Herz-Kreislauf-Erkrankungen	Chemische Abscheidung Dickschicht 5–20	Düse, Pickel	Hohe Temperaturbeständigkeit 1500°C, Korrosionsbeständigkeit	Hohe Temperaturen schädigen das Substrat und sind kostspielig	Kühldüsentemperaturbeständigkeit 1500°C, Wartungszyklus +30%
Thermisches Spritzen	Sprühen von Dickbeschichtungen 50–500	Düsenhals, Form	Erosionsbeständige, dicke Beschichtung	Geringe Bindungskraft und mangelnde Präzision	Lebensdauer der Gasturbinendüsen +20 %
Ionenimplantation	Ioneneinbettungshärte nde Schicht 0,1–1	Messer, Düse	Keine Schnittstelle, hohe Präzision	Begrenzte Tiefe und teure Ausrüstung	Mikroporen-Verschleißfestigkeit +20 %
Chemische Wärmebehandlung	Aufkohlen/Nitrieren Härten 10–100	Pickel, Düse	Hohe Härte, moderate Kosten	Hohe Temperaturen beeinträchtigen die Zähigkeit	Härte der verschleißfesten Teile: HV1500–2000
Kugelstrahlen	Projektilinduzierte Druckspannung	Düsenströmungskanal	Anti-Ermüdung, niedrige Kosten	Erhöhte Rauheit	Ermüdungslebensdauer des Läufers +30 %
Lasermodifikation	Laserhärten/ Mikro-Nanostruktur	Düse, Form	Hohe Präzision und geringe Reibung	Hoher Energieverbrauch und hohe Kosten	Mikroporen-Reibungskoeffizient 0,1–0,2

veranschaulichen:

Wirkungsmechanismus: Überblick über die Kernprinzipien der Technologie.

Typische Anwendungen: Listen Sie die wichtigsten Anwendungsszenarien auf.

Vor- und Nachteile: Vergleichen Sie Leistung und Einschränkungen.

Aerodüseneffekt: Hebt den spezifischen Beitrag in der Düse hervor.

Datenquelle: USGS-Bericht 2024 und technische Standards für Hartmetall ? web:9,23 ? .

abschließend

Durch hochentwickelte Beschichtungen sowie chemische und mechanische Behandlungen verleiht die Oberflächenmodifizierungstechnologie von Hartmetall WC-Co-Werkstoffen hervorragende Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturbeständigkeit, wodurch sie sich in Hochleistungsbereichen wie Flugzeugdüsen und Schneidwerkzeugen bewährt. In Flugzeugdüsen wirken PVD- und CVD-Beschichtungen der Hochtemperaturerosion effektiv entgegen, Kugelstrahlen und Lasermodifizierung verbessern die Ermüdungsbeständigkeit deutlich, verlängern

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

die Lebensdauer der Teile um 20–50 % und optimieren den Verbrennungswirkungsgrad um 5–10 %. Obwohl hohe Kosten, Prozesskomplexität und die Anpassungsfähigkeit an extreme Arbeitsbedingungen weiterhin Herausforderungen darstellen, wird die Integration von mehrschichtigen Verbundbeschichtungen, umweltfreundlichen Prozessen und additiver Fertigung die Technologie auf ein höheres Niveau heben. Die Oberflächenmodifizierungstechnologie von Hartmetall ist nicht nur die Spitze der Innovation in der Materialwissenschaft, sondern verleiht auch der effizienten, zuverlässigen und nachhaltigen Entwicklung der Luftfahrtindustrie starke Impulse und demonstriert die enge Verzahnung von Wissenschaft und Technik.

Anhang:

Anwendung einer Hartmetall-Nanokompositbeschichtung in einer Elektrolysezelle

1. Hintergrund der Hartmetall- und Nanokompositbeschichtung

Hartmetall (WC-Co), mit Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase, wird aufgrund seiner hohen Härte (HV 1000–1800), hervorragenden Verschleißfestigkeit und Temperaturbeständigkeit häufig in Flugzeugdüsen, Schneidwerkzeugen und industriellen Verschleißteilen verwendet. In extremen Umgebungen wie Elektrolysezellen, z. B. mit stark sauren und alkalischen Elektrolyten (pH 1–14), hohen Temperaturen (50–80 °C) und hohen Stromdichten (0,1–10 A/cm²), können Hartmetalloberflächen jedoch mit Problemen wie Korrosion, Verschleiß oder unzureichender katalytischer Leistung konfrontiert sein. Nanokompositbeschichtungen, eine fortschrittliche Oberflächenmodifizierungstechnologie, verbessern die Korrosionsbeständigkeit, die katalytische Aktivität und die mechanischen Eigenschaften von Hartmetalloberflächen erheblich, indem sie Nanopartikel (wie SiC, TiO₂, CNT) oder dünne Filme (Dicke 1–100 nm) mit Metall- oder Keramikmatrizen und bieten eine ideale Lösung für Elektroden, Tanks oder korrosionsbeständige Teile in Elektrolysezellen.

Der Einsatz von Nanokompositbeschichtungen in Elektrolyseuren zielt hauptsächlich darauf ab, die elektrokatalytische Effizienz der Elektroden zu verbessern, die Korrosionsbeständigkeit zu verlängern und den Einsatz von Edelmetallen (wie Platin und Iridium) zu reduzieren. Beispielsweise können Nanokompositbeschichtungen in Wasserstoffelektrolyseuren (wie PEM-Elektrolyseuren) die Platinbeladung um das 10- bis 40-fache reduzieren und gleichzeitig eine hohe katalytische Aktivität aufrechterhalten. Auch im Bereich der Flugzeugdüsen werden ähnliche Technologien eingesetzt, um die Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit zu verbessern, was auf ihre breite Anwendbarkeit unter extremen Betriebsbedingungen hindeutet.

Durch präzises Beschichtungsdesign optimieren Nanokompositbeschichtungen aus Hartmetall nicht nur die Leistung von Elektrolysezellen, sondern fördern auch die nachhaltige Entwicklung grüner Energietechnologien.

2. Eigenschaften der Hartmetall-Nanokompositbeschichtung

Nanokompositbeschichtungen bestehen aus mindestens zwei nicht miteinander mischbaren Phasen (z. B. Metallmatrix und Nanopartikeln), wobei die Grenzflächenstruktur eine nanometergroße Struktur (Korn- oder Partikelgröße <100 nm) aufweist. Ihre einzigartigen Eigenschaften beruhen auf dem synergistischen Effekt von Nanoeffekten, darunter Kleingrößeneffekt, Grenzflächenverstärkung und Quanteneffekt. Die Hauptmerkmale sind:

Hohe Härte und Verschleißfestigkeit

Nanopartikel (wie SiC, Al₂O₃) sind in die Matrix (wie Ni-P, WC-Co) eingebettet, mit einer Härte von bis zu HV2000–3000 und einer um 30–50 % erhöhten Verschleißfestigkeit, die für die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mechanische Beanspruchung geeignet ist, der Elektroden von Elektrolysezellen ausgesetzt sind.

Ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit

Die dichte Struktur und chemische Inertheit der Nanobeschichtung (wie TiN und MoN) blockiert wirksam korrosive Elektrolyte (wie Schwefelsäure und Kaliumhydroxid) und reduziert die Korrosionsrate um 50–90 %.

Hocheffiziente Elektrokatalyse

Nanoskalige aktive Stellen (wie etwa RuO₂ und IrO₂) vergrößern die Reaktionsoberfläche, verringern das Überpotential der Wasserstoff-/Sauerstoffentwicklung (50–200 mV) und verbessern die Elektrolyseeffizienz um 10–20 %.

Thermische Stabilität

Die Beschichtungen bleiben bei der Betriebstemperatur des Elektrolyseurs von 50–80°C stabil, und einige Beschichtungen (wie Al₂O₃ - TiO₂) hält höheren Temperaturen (>200°C) stand.

Geringe Edelmetallabhängigkeit

mit Nanopartikeln (wie MoN und CNT) können die Kosten um 50–80 % gesenkt werden und so den Anforderungen einer umweltfreundlichen Fertigung gerecht werden.

Aufgrund dieser Eigenschaften eignen sich Nanokompositbeschichtungen ideal für Elektrolyseurelektroden und korrosionsbeständige Komponenten, insbesondere bei der Wasserstoffenergieerzeugung (z. B. Wasserelektrolyse) und in der Chlor-Alkali- Industrie.

3. Zubereitungsmethode

Bei der Herstellung von Hartmetall-Nanokomposit-Beschichtungen müssen die Gleichmäßigkeit der Beschichtung, die Haftung und die präzise Kontrolle der Nanostruktur berücksichtigt werden. Im Folgenden werden die wichtigsten Methoden in Kombination mit den Anwendungseigenschaften von Elektrolysezellen analysiert:

3.1 Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD)

TiN und ZrO₂) wird durch Sputtern oder Aufdampfen auf die Oberfläche von Hartmetall aufgebracht, um einen 1–10 µm dicken Film zu bilden . Die Prozesstemperatur ist niedrig (200–500 °C), was für die Herstellung von Präzisionsbeschichtungen für Elektroden in Elektrolysezellen geeignet ist. PVD-Beschichtungen haben eine hohe Härte (HV 2000–3000) und eine starke Haftung (> 50 N). Sie werden zur Abscheidung von TiN- Beschichtungen in PEM-Elektrolysezellen verwendet, um die Korrosionsbeständigkeit und katalytische Aktivität der Elektroden zu verbessern. PVD-Beschichtungen sind jedoch dünn und weisen eine begrenzte Widerstandsfähigkeit gegen Verschleiß durch starke Belastung auf.

3.2 Chemische Gasphasenabscheidung (CVD)

Reaktionen bei hohen Temperaturen (600–1000 °C) dicke Schichten (5–20 µm) ab , beispielsweise

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

TiC oder Al_2O_3 - TiO_2 , die sich zum Korrosionsschutz von Elektrolysezellenkörpern oder Elektroden eignen. CVD-Beschichtungen sind dicht und hitzebeständig, können jedoch bei hohen Temperaturen die Kobaltphase des Hartmetalls erweichen. Der Prozess muss daher optimiert werden, um die Abscheidungs-temperatur zu senken. In Chlor-Alkali-Elektrolysezellen werden häufig CVD- RuO_2 -beschichtete Elektroden verwendet, die die Chlorentwicklungseffizienz um 15 % steigern.

3.3 Chemische Abscheidung

Bei der stromlosen Abscheidung wird durch chemische Reduktion eine Ni-P-basierte Nanokompositbeschichtung auf der Oberfläche von Hartmetall abgeschieden, wobei Nanopartikel (wie SiC , CNT) eingebettet werden. Die Beschichtungsdicke ist steuerbar (5–50 μm) , mit hoher Gleichmäßigkeit , geeignet für Elektroden mit komplexer Geometrie. Nach der Wärmebehandlung kristallisiert die Ni_3P -Phase, wodurch die Härte auf HV 1500–2000 erhöht und die Verschleißfestigkeit um 30 % verbessert wird. In der Elektrolysezelle wird die Ni-P/ SiC - Beschichtung für korrosionsbeständige Elektroden verwendet und ist kostengünstiger als bei PVD/CVD.

3.4 Galvanische Abscheidung

Bei der galvanischen Abscheidung werden durch elektrochemische Reaktionen Nanokompositbeschichtungen auf Co-P- oder Ni-P-Basis abgeschieden, die mit Nanopartikeln (wie Al_2O_3) dotiert sind. TiO_2) . Das Verfahren ist einfach, kostengünstig (Anlage ca. 1–5 Millionen RMB) und für die Großserienproduktion geeignet. Co-P/ Al_2O_3 -Beschichtungen weisen eine hohe Korrosionsbeständigkeit auf Elektroden elektrolytischer Zellen auf und reduzieren die Korrosionsrate um 70 % . Die Gleichmäßigkeit der galvanisch abgeschiedenen Beschichtung wird jedoch von der Stromdichte beeinflusst, weshalb die Prozessparameter optimiert werden müssen.

3.5 Plasmaelektrolytische Oxidation (PEO)

Al_2O_3) wird durch Hochspannung (350–500 V) im Elektrolyten mit einer Schichtdicke von 3–10 μm beschichtet und eignet sich zum Korrosionsschutz von Hartmetalltanks oder Elektroden. Die PEO-Beschichtung weist eine geringe Porosität und ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit auf und eignet sich für alkalische Elektrolysezellen (z. B. KOH-Elektrolyt). Die Zugabe von Nanopartikeln (z. B. V_2O_5) kann die elektrokatalytische Leistung weiter verbessern und erreicht eine CSB-Entfernungsrate von 90 % .

4. Anwendungsszenarien in Elektrolyseuren

Hartmetall-Nanokomposit-Beschichtungen werden hauptsächlich für Elektroden, Tankkörper und korrosionsbeständige Teile in Elektrolysezellen verwendet. Typische Anwendungen sind:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wasserstoff -Elektrolyseur (PEM, alkalischer Elektrolyseur)

Nanokompositbeschichtungen (wie MoN und Ni-P/CNT) werden für Elektroden verwendet, um das Überpotential der Wasserstoffentwicklung (100–150 mV) zu reduzieren, die Platinbeladung um das 10- bis 40-fache zu verringern und die Elektrolyseeffizienz um 15 % zu verbessern. Beispielsweise ist die MoN- Beschichtung von Naco Technologies die erste Wahl bei PEM- Elektrolyseuren und verbessert die Haltbarkeit um 30 %.

Chlor-Alkali-Industrie

Für die Chlorentwicklungsreaktion werden nanobeschichtete Elektroden aus RuO₂ oder IrO₂ verwendet . Dabei wird die katalytische Effizienz um 20 % erhöht, die Korrosionsbeständigkeit gegen starke Laugen (pH 14) erhöht und die Lebensdauer um 50 % verlängert.

Wasseraufbereitung durch Elektrolyse

Elektrolyseuren zur Abwasserbehandlung werden mit Ni-P/ SiC beschichtete Elektroden verwendet , die eine CSB-Entfernungsrate von 95 % und eine bessere Säurebeständigkeit (pH 1–3) als herkömmliche Elektroden aufweisen.

Luftfahrtbezogene Elektrolyse

In der Luftfahrtindustrie werden Elektrolysezellen zur Oberflächenbehandlung (z. B. Anodisieren) verwendet, und Nanokompositbeschichtungen (z. B. TiN) schützen die Elektroden, wodurch die Verschleißfestigkeit um 30 % erhöht wird, was den Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit von Düsen in der Luftfahrt entspricht.

Fallbeispiel: Ein PEM- Elektrolyseur verwendet Elektroden mit einer Beschichtung aus Ni-P/ TiO₂ -Nanokomposit, wodurch die Effizienz der Wasserstoffentwicklung um 10 % erhöht wird, die Lebensdauer von 10.000 Stunden auf 15.000 Stunden erhöht wird, der Edelmetallverbrauch um 60 % reduziert wird und die Wasserstoffproduktionskosten deutlich gesenkt werden.

5. Vorteile und Herausforderungen

5.1 Vorteile

Hervorragende Leistung

Die Härte (HV2000–3000), Korrosionsbeständigkeit und katalytische Aktivität der Nanobeschichtung sind deutlich besser als bei herkömmlichen Beschichtungen und die Elektrolyseeffizienz ist um 10–20 % erhöht.

Kosteneinsparungen

Reduzieren Sie den Einsatz von Edelmetallen (wie Pt, Ir) , senken Sie die Produktionskosten um 50–80 % und eignen Sie sich für groß angelegte Anwendungen im Bereich grüner Energie.

Hohe Gleichmäßigkeit

Durch stromlose Abscheidung und PEO-Technologien ist eine gleichmäßige Beschichtung komplexer Elektroden möglich, die für Mikrokanäle oder poröse Strukturen geeignet sind.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Umweltfreundlich

Nanobeschichtungen verlängern die Lebensdauer der Elektroden, verringern die Austauschhäufigkeit und verringern den Ressourcenverbrauch und die Abfallentsorgung.

5.2 Herausforderungen

Vorbereitungskosten

PVD/CVD-Geräte sind teuer (10–30 Millionen RMB) und verbrauchen viel Betriebsenergie (500–1000 kWh/Charge), was kleine und mittelgroße Anwendungen einschränkt.

Beschichtungsstabilität

Nanobeschichtungen können sich bei langfristig hoher Stromdichte ablösen und die Haftung (20–50 MPa) muss weiter verbessert werden.

Prozesskomplexität

Die Dispersion der Nanopartikel und die Gleichmäßigkeit der Beschichtung werden durch den Oberflächenzustand des Substrats beeinflusst und erfordern eine strenge Vorbehandlung.

Umweltauswirkungen

Bei der CVD entstehen chemische Gasemissionen und die Kosten für die Behandlung von Abfallflüssigkeiten aus der stromlosen Abscheidung sind hoch, daher müssen umweltfreundliche Verfahren entwickelt werden.

Nanotoxizität

müssen ungiftige Materialien (wie etwa SiC und Al₂O₃) ausgewählt werden.

6. Zukünftige Entwicklungsrichtung

Um die Herausforderungen zu bewältigen und die Anwendung von Hartmetall-Nanokompositbeschichtungen in Elektrolysezellen voranzutreiben, können in Zukunft folgende Schwerpunkte gesetzt werden:

Multifunktionale Verbundbeschichtung

Entwickeln Sie mehrschichtige Nanobeschichtungen (wie TiN / RuO₂ / MoN), die eine hohe katalytische Aktivität mit Korrosionsbeständigkeit kombinieren, um die Effizienz der Elektrolyse um 20–30 % zu steigern.

Grüne Aufbereitungstechnologie

Fördern Sie CVD bei niedrigen Temperaturen (<500 °C) oder plasmaunterstützte stromlose Abscheidung, um den Energieverbrauch um 30–50 % zu senken und den chemischen Abfall zu verringern.

Nanopartikeloptimierung

Durch die Verwendung ungiftiger Nanopartikel (wie SiO₂ und TiO₂) als Ersatz für Edelmetalle können die Kosten um 50 % senken und gleichzeitig die Umweltsicherheit verbessern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Integration der additiven Fertigung

Durch die Kombination von 3D-gedruckten Hartmetallelektroden mit der In-situ-Abscheidung von Nanobeschichtungen wird eine integrierte Herstellung komplexer Strukturen erreicht, die die Kosten um 20 % senkt.

Intelligente Überwachung und Gestaltung

Durch KI und molekulardynamische Simulation wird die Beschichtungsstruktur optimiert, Lebensdauer und Leistung vorhergesagt und der F&E-Zyklus um 30 % verkürzt.

7. Übersichtstabelle

Wichtige Merkmale und technische Punkte der Hartmetall-Nanokompositbeschichtung in Elektrolysezellen

Technologie	Wirkmechanismus	Typische Anwendungen	Hauptvorteile	Haupteinschränkungen	Elektrolyseur -Effekt
PVD	Physikalische Abscheidung von Nanofilmen (1–10 μ m)	PEM Elektrolyseurelektroden	Hohe Härte (HV2000–3000), hohe katalytische Aktivität	Dünne Beschichtung, hohe Kosten	Wasserstoffentwicklungseffizienz +10 %, Lebensdauer +30 %
Herz-Kreislauf-Erkrankungen	Chemisch abgeschiedene dicke Schichten (5–20 μ m)	Chlor-Alkali-Elektrode	Hohe Temperaturbeständigkeit (1500°C), Korrosionsbeständigkeit	Schäden am Substrat durch hohe Temperaturen	Chlorentwicklungseffizienz +15 %, Lebensdauer +50 %
Stromlose Abscheidung	Chemisch reduzierte Ni-P-basierte Beschichtungen (5–50 μ m)	Abwasserbehandlungselektrode	Hohe Gleichmäßigkeit und niedrige Kosten	Abwasserreinigung ist kompliziert	CSB-Entfernungsrate 95 %, starke Säurebeständigkeit
Galvanische Abscheidung	Elektrochemisch abgeschiedene Co-P-basierte Beschichtungen (5–50 μ m)	Wasserstoffelektrode	Einfache Verarbeitung, Korrosionsbeständigkeit	Die Einheitlichkeit muss optimiert werden	Korrosionsrate -70 %, niedrige Kosten
PEO	Plasmaoxidations-Keramikbeschichtung (3–10 μ m)	Alkalischer Elektrolyseur	Geringe Porosität, Korrosionsbeständigkeit	Hohe Spannung, hoher Energieverbrauch	CSB-Entfernungsrate 95 %, starke Alkalibeständigkeit

veranschaulichen:

Wirkungsmechanismus: Übersicht über den Kernmechanismus der Technologie.

Typische Anwendungen: Auflisten von Szenarien im Zusammenhang mit Elektrolyseuren .

Vor- und Nachteile: Vergleichen Sie Leistung und Einschränkungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Elektrolyseureffekt : hebt den spezifischen Beitrag im Elektrolyseur hervor .

Datenquelle: USGS-Bericht 2024 und zugehörige technische Dokumente. Web:0,1,9,14,23

8. Fazit

verleihen Nanokompositbeschichtungen aus Hartmetall Elektrolyseurelektroden und korrosionsbeständigen Teilen eine hervorragende Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und elektrokatalytische Leistung . In Wasserstoffelektrolyseuren , der Chloralkaliindustrie und der Abwasseraufbereitung verbessern die Beschichtungen den Elektrolysewirkungsgrad deutlich (10–20 %), verlängern die Lebensdauer (30–50 %) und reduzieren die Abhängigkeit von Edelmetallen, was ihr großes Potenzial im Bereich der grünen Energie zeigt. Ähnlich wie die Anforderungen an die Korrosionsbeständigkeit von Flugzeugdüsen spiegeln die Anwendung von Nanokompositbeschichtungen in Elektrolyseuren eine domänenübergreifende Innovation in der Materialwissenschaft wider. Allerdings müssen noch hohe Herstellungskosten, die Beschichtungsstabilität und die Umweltbelastung überwunden werden. Durch die Integration multifunktionaler Kompositbeschichtungen, umweltfreundlicher Prozesse und additiver Fertigung werden Nanokompositbeschichtungen aus Hartmetall die Entwicklung der Elektrolyseurtechnologie künftig weiter in eine effiziente und nachhaltige Richtung vorantreiben und der globalen Energiewende und der industriellen Modernisierung neue Impulse verleihen.

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

Anhang:

Was ist nanobeschichtetes Hartmetall

Nanobeschichtetes Hartmetall bezieht sich auf eine Beschichtung mit einer Dicke von Nanometern (normalerweise 1100 nm), die auf der Oberfläche eines Hartmetallsubstrats (wie WC+ Co , WC+ Ni) werden durch physikalische oder chemische Methoden beschichtet, um Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Hochtemperaturbeständigkeit und Oberflächeneigenschaften deutlich zu verbessern und gleichzeitig die hohe Härte (1400–2200 HV) und Festigkeit (1,8–2,8 GPa) des Substrats zu erhalten. Nanobeschichtungen werden aufgrund ihrer ultrafeinen Kornstruktur (Korngröße <100 nm), hohen Grenzflächendichte und hervorragenden Haftung häufig in Luftfahrtwerkzeugen, Tiefseedichtungen, chemischen Pumpenkörpern und Formen verwendet und erfüllen die Anforderungen extremer Arbeitsbedingungen (wie z. B. hohe Temperaturen von 800–1200 °C, hoher Druck von 15.000 psi, korrosive Flüssigkeiten).

Dieser Artikel kombiniert nationale Standards (wie GB/T 183762014, GB/T 79972017) und Branchenpraktiken, um die Definition, Beschichtungsarten, Herstellungsverfahren, Leistung und Anwendungen von nanobeschichtetem Hartmetall detailliert vorzustellen und empfiehlt entsprechend die Produktionskapazitäten der CTIA GROUP LTD in den Bereichen nanobeschichteter Hartmetalldichtungen, Pumpenkörper usw.

1. Definition und Bedeutung von nanobeschichtetem Hartmetall

Nanobeschichtetes Hartmetall besteht aus einem Hartmetallsubstrat und einer nanoskaligen Beschichtung. Die Beschichtungsdicke beträgt üblicherweise 110 µm (Einzel- oder Mehrschicht) und die Korngröße liegt unter 100 nm. Die Herstellung erfolgt durch physikalische Gasphasenabscheidung (PVD), chemische Gasphasenabscheidung (CVD) oder Verbundtechnologie (z. B. Plasmaspritzen).

Matrix

WC (85-94%) + Bindephase (Co/Ni, 6-15%), Dichte 14,5-15,0 g/cm³ , Porosität <0,01% (GB/T 5169-2013).

Beschichtung

Zu den üblichen Materialien gehören TiN , TiAlN , Al₂O₃, DLC (diamantähnlicher Kohlenstoff), CrN usw. , die eine hohe Härte (2000–4000 HV), einen niedrigen Reibungskoeffizienten (<0,2) und eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit aufweisen.

Verschleißfestigkeit

Die Nanobeschichtung hat eine hohe Härte (2000–4000 HV), reduziert den Verschleiß um 30–50 % (ASTM G65) und verlängert die Lebensdauer des Werkzeugs um das 25- fache.

Korrosionsbeständigkeit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Beschichtung ist dicht (Porosität $<0,001\%$) und beständig gegen Säure- (H_2SO_4), Laugen- (NaOH) und Seewasserkorrosion mit einer Rate von $<0,005\text{ mm/Jahr}$ (NACE MR0175).

Hohe Temperaturbeständigkeit

TiAlN- und Al_2O_3 -Beschichtungen sind bei $800\text{--}1200\text{ }^\circ\text{C}$ oxidationsbeständig und eignen sich für Hochgeschwindigkeitsschneiden und Hochtemperaturbedingungen.

Oberflächeneigenschaften

Reibungskoeffizient um 2050 % reduziert (DLC $<0,1$), verbesserte Dichtungsleistung (Leckagerate $<10^{-6}\text{ mbar}\cdot\text{L/s}$).

Anwendungen : Luftfahrtwerkzeuge (um 50 % erhöhte Schnittlebensdauer), Tiefseedichtungen (beständig gegen H_2S /Meerwasser), chemische Pumpenkörper (um 30 % erhöhte Erosions- und Korrosionsbeständigkeit).

2. Arten und Eigenschaften von Nanobeschichtungen

Einschichtige Nanobeschichtung :

Material :

Zinn : goldgelb, Härte $2000\text{--}2300\text{ HV}$, gute Verschleißfestigkeit, Temperaturbeständigkeit $600\text{ }^\circ\text{C}$.

CrN : Silbergrau, Härte $1800\text{--}2200\text{ HV}$, ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit (beständig gegen $\text{Cl}^-/\text{H}_2\text{S}$), Reibungskoeffizient $0,30,4$.

DLC : schwarz, Härte $2000\text{--}3000\text{ HV}$, Reibungskoeffizient $<0,1$, hohe Verschleiß-/Korrosionsbeständigkeit.

Dicke : $15\text{ }\mu\text{m}$, Korngröße: 1050 nm .

Anwendungen : Formen, Dichtungen (CrN /DLC), langsam schneidende Werkzeuge (TiN).

Mehrschichtige Nanobeschichtung :

Material :

TiN / TiAlN : Wechselschichten (1020 nm/Schicht), Härte $2500\text{--}3000\text{ HV}$, Temperaturbeständigkeit $800\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$.

TiAlN / Al_2O_3 : Härte $3000\text{--}3500\text{ HV}$, Oxidationsbeständigkeit $1000\text{--}1200\text{ }^\circ\text{C}$, Verschleißfestigkeit um 30 % erhöht.

CrN / AlCrN : Härte $2200\text{--}2800\text{ HV}$, Korrosionsbeständigkeit um 20–30 % erhöht, geeignet für die Meeresumwelt.

Dicke : $210\text{ }\mu\text{m}$, Anzahl der Schichten: 101000.

Merkmale : Die mehrschichtige Struktur verbessert die Spannungsverteilung an der Schnittstelle und erhöht die Risswachstumsbeständigkeit um 50 %.

Anwendung : Hochgeschwindigkeitsschneidwerkzeuge (TiAlN / Al_2O_3), Tiefseeventile (CrN / AlCrN).

Gradienten- Nanobeschichtung :

Materialien : TiCN, AlCrSiN, mit einer allmählichen Änderung der Zusammensetzung von der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Matrix zur Oberfläche (z. B. Ti→TiN→TiCN).

Eigenschaften : Härte 2500–3500 HV, Haftung um 20–30 % erhöht (Kratztest > 80 N), ausgewogene Verschleiß-/Korrosionsbeständigkeit.

Anwendung : Chemische Pumpenkörper, Schneidwerkzeuge für die Luftfahrt, Erosions- und Korrosionsbeständigkeit um 30 % erhöht.

Verbund- Nanobeschichtung :

Material : DLC+ TiN , Al₂O₃+CrN, kombiniert die Vorteile mehrerer Materialien.

Eigenschaften : Härte 2000–4000 HV, Reibungskoeffizient <0,2, Temperaturbeständigkeit 800–1000 °C, Korrosionsbeständigkeit um 20–50 % erhöht.

Anwendung : Dichtungen (DLC + CrN , Leckrate <10⁻⁶ mbar·L /s), Hochgeschwindigkeitsform.

3. Nanobeschichtungsvorbereitungsprozess

Physikalische Gasphasenabscheidung (PVD) :

Methode :

Magnetronspattern : hohe Abscheidungsrate (0,11 µm /h) , geeignet für TiN , CrN und DLC.

Lichtbogenverdampfung : hohe Ionisierungsrate (>80 %), geeignet für TiAlN und AlCrN .

Verfahren :

Vakuumgrad: 10⁻³ 10⁻⁴ Pa.

Temperatur: 200–500 °C (Substratglühen vermeiden).

Vorspannung: 50 bis 200 V, verbessert die Haftung.

Gas: Ar (Substratreinigung), N₂/CH₄ (Reaktion zur Bildung von TiN /DLC).

Leistung : Schichtdicke 15 µm , Korngröße 1050 nm, Haftung >60 N (Kratztest).

Vorteile : Niedertemperaturabscheidung, geeignet für Hartmetallsubstrate, gleichmäßige Beschichtung (Abweichung <±5 %).

Einschränkungen : Niedrige Abscheidungsrate (0,11 µm /h), etwas schlechte Abdeckung komplexer Formen.

Chemische Gasphasenabscheidung (CVD) :

Methode :

Thermische CVD : geeignet für Al₂O₃, TiCN , Abscheidungstemperatur 800–1000 °C.

Plasmaunterstützte CVD (PECVD) : geeignet für DLC, Temperatur 200–400 °C.

Verfahren :

Temperatur: 200–1000 °C (hoch für thermisches CVD, niedrig für PECVD).

Gas: TiCl₄ (TiN / TiCN) , CH₄ (DLC), AlCl₃ (Al₂O₃).

Druck: 10² 10³ Pa .

Eigenschaften : Dicke 210 µm , Korngröße 20100 nm, Härte 2000–3500 HV.

Vorteile : Dichte Beschichtung (Porosität < 0,001 %), die komplexe Formen abdeckt.

Einschränkungen : CVD bei hohen Temperaturen kann die Matrixfestigkeit verringern (die Härte sinkt um 5–10 %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verbundtechnologie :

Plasmaspritzen : geeignet für dicke Beschichtungen (1050 μm), wie z. B. $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiN}$, mit einer Korngröße von 50100 nm.

Laserauftragschweißen : lokale Abscheidung von TiN / CrN , Dicke 520 μm , Haftung >100 N.

Anwendung : Körper und Formen chemischer Pumpen, Erosions- und Korrosionsbeständigkeit um 30 % erhöht.

Nachbearbeitung :

Polieren : $R_a < 0,1 \mu\text{m}$, Reibungskoeffizient um 1020 % reduziert.

Glühen : 300–500 $^{\circ}\text{C}$, beseitigt innere Spannungen, erhöht die Haftung um 1015 %.

Ionenreinigung : Argon -Ionenbeschuss, Oberflächendefekte um 20 % reduziert.

4. Leistung von nanobeschichtetem Hartmetall

Beschichtungstyp	Härte (HV)	Reibungskoeffizient	Temperaturbeständigkeit ($^{\circ}\text{C}$)	Korrosionsrate (mm/Jahr)	Typische Anwendungen
Zinn	20002300	0,40,6	600	0,010,05 (HCl)	Werkzeug mit niedriger Geschwindigkeit
TiAlN	25003000	0,30,5	8001000	0,010,03 (H_2SO_4)	Hochgeschwindigkeitswerkzeug
CrN	18002200	0,30,4	700	<0,005 (Meerwasser)	Dichtungen
Zusatzinhalt	20003000	<0,1	400600	<0,005 (NaOH)	Pumpenkörper
$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiAlN}$	30003500	0,40,5	10001200	0,0050,01 (H_2S)	Luftfahrtwerkzeuge

Leistungsverbesserungen :

Verschleißfestigkeit : TiAlN- beschichtete Werkzeuge weisen eine 25-fach höhere Standzeit und eine Verschleißrate von <0,02 mm^3/h auf.

Korrosionsbeständigkeit : Die Korrosionsrate der CrN /DLC-Beschichtung in Meerwasser/ H_2S beträgt <0,005 mm/Jahr und ist damit besser als die eines unbeschichteten Substrats (0,010,05 mm/Jahr).

Hohe Temperaturbeständigkeit : Die Oxidschichtdicke der $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiAlN}$ -Beschichtung beträgt beim Schneiden bei 1000 $^{\circ}\text{C}$ weniger als 0,1 μm .

Dichtungsleistung : Leckrate der DLC-beschichteten Dichtung <10 $^{-6}$ mbar ·L /s, Lebenserwartung um 3050 % erhöht.

Beispiele :

TiAlN Werkzeug : PVD-Beschichtung (3 μm , 1400 $^{\circ}\text{C}$ Schneiden), Lebensdauer um das Dreifache erhöht, Verschleißfestigkeit um 50 % erhöht.

CrN Dichtungen : PVD CrN (2 μm), Seewasser (15.000 psi), Korrosionsrate <0,005 mm/Jahr, Lebensdauer >1000 Verbindungen.

DLC- Pumpenkörper : PECVD DLC (1 μm), H_2SO_4 (50 %), Korrosionsrate <0,005 mm/Jahr,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Erosionsbeständigkeit um 30 % erhöht.

5. Anwendungsszenarien

Fliegermesser :

Beschichtung : TiAlN / Al₂O₃ (35 µm , PVD/CVD) .

Leistung : Härte 3000–3500 HV, Temperaturbeständigkeit 1000–1200 °C, Schnittlebensdauer um 50 % erhöht.

Beispiel : WC+6 %Co-Werkzeug (Ø 12 × 80 mm), TiAlN- Beschichtung, Schneiden einer Ti-Legierung, Lebensdauer 300 Minuten (unbeschichtet 100 Minuten).

Tiefseerobben :

Beschichtung : CrN /DLC (13 µm , PVD) .

Leistung : H₂S/Meerwasser-Korrosionsrate <0,005 mm/Jahr, Leckrate <10⁻⁶ mbar·L /s.

Beispiel : YN10-Dichtung (Ø 50 mm), CrN -Beschichtung, 15.000 psi, Lebensdauer > 1000 Verbindungen.

Körper der Chemiepumpe :

Beschichtung : DLC/ TiCN (25 µm , PECVD) .

Leistung : H₂SO₄ (50 %) Korrosionsrate <0,005 mm/Jahr, Verschleißmenge <0,03 mm³/h.

Beispiel : YN12-Pumpengehäuse (Ø 200 mm), DLC-Beschichtung, Flüssigkeit enthält Partikel, Lebensdauer >10.000 Stunden.

Schimmel :

Beschichtung : TiN / CrN (13 µm , PVD) .

Leistung : Härte 2000–2300 HV, Reibungskoeffizient <0,4, 23 -fach erhöhte Lebensdauer der Form.

Beispiel : WC+8 %Co-Form (Ø 100 mm), TiN- Beschichtung, Stanzlebensdauer 500.000 Mal (unbeschichtet 200.000 Mal).

6. Optimierungsvorschläge für nanobeschichtetes Hartmetall

Matrixoptimierung :

Material : Es wird Hartmetall auf Ni-Basis (YN10/YN12) verwendet und die Korrosionsbeständigkeit wird um 5070 % erhöht (NACE MR0175).

Sintern : HIP (1350 °C, 120 MPa), Porosität <0,001 %, Haftung um 20 % erhöht.

Oberfläche : Poliert (Ra <0,2 µm) , Beschichtungshaftung um 1520 % erhöht.

Beschichtung :

Mehrschichtstruktur : TiN / TiAlN (1020 nm/Schicht), Risswachstumsbeständigkeit um 50 % erhöht.

Verlaufsbeschichtung : TiCN / AlCrSiN , Haftung um 20–30 % erhöht.

Verbundbeschichtung : DLC+ CrN , Reibungskoeffizient <0,1, Korrosionsbeständigkeit um 30 % erhöht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zubereitung :

PVD : Vorspannung 100 V, Abscheidungstemperatur 300–400 °C, Beschichtungsgleichmäßigkeit um 10 % erhöht.

PECVD : niedrige Temperatur (200–300 °C), geeignet für DLC, kein Verlust der Substratleistung.

Reinigung : Ar -Ionenreinigung (10^{-3} Pa) , Oberflächendefekte um 20 % reduziert.

Geräteoptimierung :

Vakuumgrad : 10^{-4} Pa , Verunreinigungen um 30 % reduziert, Beschichtungsreinheit um 10 % erhöht.

Zielmaterial : hochreines Ti/ Al /Cr (>99,99 %), Beschichtungsdefekte um 20 % reduziert.

Überwachung : Online-Spektralanalyse, Dickenabweichung $\leq \pm 5$ %.

Nachbearbeitung :

Polieren : $R_a < 0,1 \mu\text{m}$, Reibungskoeffizient um 1020 % reduziert .

Glühen : 400 °C, die innere Spannung nimmt um 15 % ab, die Haftung nimmt um 10 % zu.

Beschichtungsprüfung : Kratztest (>60 N), SEM-Beobachtung von Körnern (<50 nm) .

7. Normen

GB/T 183762014 : Porosität <0,01 %, Gleichmäßigkeit >95 %.

GB/T 51692013 : Porosität A00B00C00 (HIP-Substrat).

GB/T 38502015 : Dichteabweichung $\leq \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

GB/T 79972017 : Härte 1400–2200 HV (Substrat), 2000–4000 HV (Beschichtung).

GB/T 38512015 : Biegefestigkeit 1,82,8 GPa .

NACE MR 0175 : H₂S/CO₂-beständig, Korrosionsrate <0,005 mm/Jahr.

ISO 6508 : Beschichtungshärteprüfung, Abweichung $< \pm 50$ HV.

ASTM G 65 : Verschleißrate <0,05 mm³/h.

8. Fazit

Nanobeschichtetes Hartmetall verbessert die Verschleißfestigkeit (Verschleißverlust um 30-50 % reduziert), die Korrosionsbeständigkeit (Korrosionsrate <0,005 mm/Jahr) und die Hochtemperaturbeständigkeit (800-1200 °C) durch die Abscheidung von Nanobeschichtungen (TiN, TiAlN, CrN, DLC usw.) auf WC+Co /Ni-Substraten erfüllen die hohen Anforderungen von Luftfahrtwerkzeugen, Tiefseedichtungen und chemischen Pumpengehäusen. Das PVD/PECVD-Verfahren gewährleistet eine dichte Beschichtung (Körner < 50 nm) mit hoher Haftung (> 60 N). Mehrschicht-/Gradientenbeschichtungen optimieren die Leistung zusätzlich. Durch Optimierung des Substrats (HIP-Sintern), der Beschichtung (Mehrschicht- CrN /DLC) und des Prozesses (Niedertemperatur-PVD) kann die Gesamtleistung weiter verbessert werden.

CTIA GROUP LTD verwendet fortschrittliche PVD/PECVD-Technologie und HIP-Sintersubstrate bei der Herstellung von nanobeschichteten Hartmetalldichtungen, Pumpenkörpern und Ventilen und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

bietet hochverschleißfeste und korrosionsbeständige Lösungen, die für extreme Umgebungen wie die Tiefsee und die chemische Industrie geeignet sind.



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

Anhang:

Was ist Gradientenkarbid?

Gradientenhartmetall ist ein Hartmetallwerkstoff, dessen Zusammensetzung, Struktur oder Leistung sich innerhalb des Materials schrittweise entlang einer bestimmten Richtung (z. B. Dicke, radiale Richtung) ändert. Es besteht üblicherweise aus Wolframkarbid (WC) und einer Bindephase (z. B. Co, Ni, 615 Gew.-%). Seine Gradienteneigenschaften werden durch Pulverdosierung, Press- oder Sinterprozesse erreicht, sodass das Material in unterschiedlichen Bereichen differenzierte Härte (1400–2200 HV), Festigkeit (1,8–2,8 GPa), Verschleißfestigkeit oder Korrosionsbeständigkeit aufweist und sich an komplexe Arbeitsbedingungen (z. B. Bergbau, Schneiden, Tiefseedichtungen, chemische Pumpenkörper) anpasst. Verglichen mit herkömmlichem gleichmäßigen Hartmetall weist Gradientenhartmetall eine bessere Verschleißfestigkeit, Schlagfestigkeit und Lebensdauer auf und wird häufig in Luftfahrtwerkzeugen, Bergbaupickeln und korrosionsbeständigen Dichtungen eingesetzt.

Dieser Artikel kombiniert nationale Standards (wie GB/T 183762014, GB/T 51692013) und Branchenpraktiken, um die Definition, den Herstellungsprozess, die Leistung, die Anwendung und die Optimierungsmaßnahmen von Gradientenhartmetall im Detail vorzustellen und empfiehlt entsprechend die Produktionskapazitäten der CTIA GROUP LTD in den Bereichen Gradientenhartmetalldichtungen, Pumpenkörper usw.

1. Definition und Bedeutung von Gradientenhartmetall

Unter Gradientenhartmetall versteht man ein Hartmetall, dessen innere Zusammensetzung (wie etwa WC/Co-Verhältnis), Korngröße (0,55 μm), Bindephasengehalt (620 Gew.-%) oder Eigenschaften (Härte, Zähigkeit) sich entlang einer bestimmten Richtung (wie etwa von der Oberfläche zum Kern) kontinuierlich oder abgestuft ändern.

Typische Struktur :

Oberfläche : hohe Härte (1800–2200 HV), geringe Bindungsphase (Co/Ni 68 Gew.-%), feine Körnung (0,51 μm), hohe Verschleißfestigkeit.

Kern : hohe Zähigkeit ($KIC\ 1215\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), hohe Bindungsphase (Co/Ni 1220 Gew.-%), grobe Körnung (25 μm), gute Schlagzähigkeit.

Herstellung : Dies wird durch schichtweises Pulverpressen, Gradientensintern oder Aufkohlungs-/Nitrierverfahren gemäß GB/T 38502015 (Dichte), GB/T 51692013 (Porosität <0,01 %) erreicht.

Leistungsoptimierung : Eine hohe Oberflächenhärte verbessert die Verschleißfestigkeit (Verschleißverlust um 20–30 % reduziert, ASTM G65) und eine hohe Kernzähigkeit verbessert die Schlagfestigkeit (Bruchwahrscheinlichkeit um 30–50 % reduziert).

Längere Lebensdauer : Die Gradientenstruktur gleicht Verschleißfestigkeit und Rissbeständigkeit aus und erhöht die Lebensdauer des Werkzeugs um das 23-fache und die Lebensdauer der Meißel um 50–100 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anpassung an komplexe Arbeitsbedingungen : Oberflächenkorrosionsbeständigkeit (H₂SO₄/H₂S-Korrosionsrate <0,01 mm/Jahr, NACE MR0175), Kernschlagfestigkeit , geeignet für Bergbau, Tiefsee und chemische Industrie.

Kosteneffizienz : Reduzieren Sie die Menge an Edelmetallen (wie Co/Ni), optimieren Sie die Oberflächenleistung und senken Sie die Kosten um 1020 %.

2. Arten und Eigenschaften von Gradientenhartmetall

Zusammensetzungsgradient :

Merkmale : Der Gehalt der Bindungsphase (Co/Ni) nimmt von der Oberfläche (68 Gew.-%) zum Kern (1220 Gew.-%) zu, und der WC-Gehalt ändert sich in die entgegengesetzte Richtung.

Leistung :

Oberfläche: Härte 1800–2200 HV, Verschleißfestigkeit um 20–30 % erhöht.

Kern: Biegefestigkeit 2,22,8 GPa , Zähigkeit KIC 1215 MPa·m^{1/2}.

Anwendungen : Bergbau-Meißel (verschleißfeste Oberfläche, schlagfester Kern) , Schneidwerkzeuge.

Körnungsverlauf :

Merkmale : Die WC-Körner verändern sich von fein an der Oberfläche (0,51 µm) zu grob im Kern (25 µm) .

Leistung :

Oberfläche: Härte 2000–2200 HV, Korrosionsbeständigkeit um 1520 % erhöht (H₂S <0,005 mm/Jahr).

Kern: Bruchzähigkeit um 2030 % erhöht, starker Widerstand gegen Rissausbreitung.

Anwendungen : Tiefseedichtungen (korrosionsbeständige Oberfläche, hochdruckbeständiger Kern) , Gussformen.

Leistungsgradient :

Eigenschaften: Hohe Oberflächenhärte (>2000 HV) und hohe Kernzähigkeit (KIC >12 MPa·m^{1/2}) durch Aufkohlen/Nitrieren oder Wärmebehandlung .

Leistung :

Oberfläche: verschleißfest und korrosionsbeständig (Seewasserkorrosionsrate <0,005 mm/Jahr).

Kern: schlagfest, Lebensdauer um 3050 % erhöht.

Anwendung : Chemiepumpenkörper (oberflächenbeständig gegen Erosion, Kern beständig gegen hohen Druck) , Schneidwerkzeuge für die Luftfahrt.

Zusammengesetzter Farbverlauf :

Merkmale : Kombination aus Zusammensetzung, Körnung und Leistungsgradienten, wie z. B. Oberfläche auf Ni-Basis (10 Gew.-%) + feine Körner (0,5 µm) , Kern auf Co-Basis (15 Gew.-%) + grobe Körner (3 µm) .

Leistung : umfassende Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit (H₂SO₄ <0,01 mm/Jahr), Schlagfestigkeit, Lebensdauer um 50100 % erhöht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendung : Hochwertige Dichtungen, Ventile, beständig gegen extreme Umgebungen.

3. Herstellungsprozess von Gradientenhartmetall

Schichtpulverpressung :

Methode :

unterschiedliche Co/Ni-Gehalte (620 Gew.-%) bzw. WC-Korngrößen ($0,55\text{ }\mu\text{m}$) hergestellt.
Schichtförmige Formfüllung (z. B. wenig Co an der Oberfläche und viel Co im Kern),
kaltisostatisches Pressen (200–300 MPa).

Verfahren :

Pulver: WC ($D_{50}\ 0,55\text{ }\mu\text{m}$), Co/Ni (>99,9 % Reinheit), 1624 h in einer Kugelmühle gemahlen.

Pressen: Druck 250–300 MPa, Knüppeldichte 60–70 % der theoretischen Dichte.

Sintern: Vakuum ($1350\text{--}1450\text{ }^{\circ}\text{C}$, $10^{-4}\text{--}10^{-5}\text{ Pa}$) oder HIP ($1350\text{ }^{\circ}\text{C}$, 100–150 MPa).

Eigenschaften : Gradientenschichtdicke 0,55 mm, Porosität <0,01 % (A02B00C00), Dichte $14.515,0\text{ g/cm}^3$.

Vorteile : präzise Gradientensteuerung, geeignet für komplexe Formen (wie Picks, Dichtungsringe).

Einschränkungen : Die Bindungskraft zwischen den Schichten ist etwas schwach und das Sintern muss optimiert werden.

Gradientensintern :

Methode :

Der homogene Block (Co/Ni 1012 Gew.-%) wurde während des Sinterns durch Temperatur-/Atmosphärengradienten strukturellen Unterschieden ausgesetzt.

Durch Aufkohlen (C_2H_2) oder Nitrieren (N_2) der Oberfläche wird die Oberflächenhärte erhöht.

Verfahren :

Entparaffinierung: $200\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$, 10^{-2} Pa , $\text{H}_2\ 515\text{ l/min}$, Restkohlenstoff <0,05 %.

Sintern: $1350\text{--}1450\text{ }^{\circ}\text{C}$, Oberflächen-Hochtemperaturzone ($1450\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 Stunden), Kern-Niedrigtemperaturzone ($1350\text{ }^{\circ}\text{C}$), Vakuum/HIP.

Aufkohlen/Nitrieren: $1000\text{--}1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{C}_2\text{H}_2/\text{N}_2$ -Durchflussrate 510 l/min , 12 Stunden.

Leistung : Oberflächenhärte 2000–2200 HV, Kernzähigkeit KIC $1215\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, Porosität <0,001 % (HIP).

Vorteile : Keine offensichtliche Schnittstelle zwischen den Schichten, kontinuierlicher Leistungsübergang.

Einschränkungen : Die Ausrüstung ist komplex und erfordert eine hohe Temperaturregelgenauigkeit ($\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Wärmebehandlung und Nachbehandlung :

Methode :

Nach dem Sintern wird die Oberfläche aufgekühlt/ nitriert oder es erfolgt eine lokale Laserbehandlung zur Ausbildung eines Härtegradienten.

Polieren ($R_a < 0,2\text{ }\mu\text{m}$) oder Beschichten (TiN/DLC) zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verfahren :

Aufkohlen: 1100 °C, C₂H₂ 5 l/min, 1 Stunde, Oberflächenhärte um 1015 % erhöht.

Polieren: Diamantpolierpaste (15 µm), Ra <0,1 µm, Korrosionsbeständigkeit um 1520 % erhöht.

Beschichtung: PVD TiN (25 µm), Härte 2000–2300 HV, Verschleißfestigkeit um 30 % erhöht.

Leistung : Oberflächenverschleiß-/Korrosionsbeständigkeit (H₂SO₄ <0,01 mm/Jahr), Kernschlagfestigkeit.

Anwendung : Tiefseeventile, chemische Pumpenkörper.

Neue Technologien :

3D-Druck + Sintern : Schichtweises Drucken unterschiedlicher Pulverzusammensetzungen (z. B. wenig Co an der Oberfläche und viel Co im Kern), HIP-Sintern, Gradientengenauigkeit ±0,05 mm.

Plasmaspritzen : Abscheidung von Gradientenschichten (z. B. WCCo zu WCNi) mit einer Schichtdicke von 1050 µm.

Vorteile : Hohe Flexibilität, geeignet für kundenspezifische Teile.

Einschränkungen : Geringe technische Reife und hohe Kosten (500–2000 Yuan pro Stück).

4. Gradientenkarbid-Leistung

Typ	Oberflächeneigenschaft	Kernleistung	Porosität (%)	Verschleißfestigkeit (mm ³ /h)	Korrosionsbeständigkeit (mm/Jahr)	Typische Anwendungen
Kompositionsgradient	Härte 18002200 HV	Zähigkeit KIC 1215 MPa·m ^{1/2}	<0,01	<0,05	H ₂ SO ₄ <0,01	Bergbau-Spitzhacken
Körnungsverlauf	Härte 20002200 HV	Festigkeit 2,22,8 GPa	<0,001	<0,03	Meerwasser <0,005	Tiefseerobben
Leistungsgradient	Härte >2000 HV	Die Lebensdauer wurde um 30 % erhöht	<0,01	<0,04	H ₂ S <0,005	Körper der Chemiepumpe
Zusammengesetzter Farbverlauf	Härte 18002200 HV	Zähigkeit KIC >12 MPa·m ^{1/2}	<0,001	<0,03	H ₂ SO ₄ <0,01	Luftfahrtwerkzeuge

Leistungsverbesserungen :

Verschleißfestigkeit : Feinkörnige Oberfläche/niedriger Co-Gehalt reduziert den Verschleißverlust um 20–30 % (<0,05 mm³/h, ASTM G65).

Korrosionsbeständigkeit : Die Gradientenoberfläche auf Ni-Basis (Cr₃C₂/Mo 0,52 Gew.-%) weist eine H₂S/Meerwasser-Korrosionsrate von <0,005 mm/Jahr auf.

Schlagfestigkeit : Hoher Co-Gehalt im Kern (1520 Gew.-%), Biegefestigkeit 2,22,8 GPa, Bruchwahrscheinlichkeit um 3050 % reduziert.

Lebensdauer : Die Lebensdauer der Schneidzähne wurde um 50–100 % erhöht, die Lebensdauer

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

der Dichtungen > 5.000 Stunden (15.000 psi).

Beispiele :

Meißel mit Gradientenzusammensetzung : Oberfläche WC+6 % Co (0,5 μm) , Kern WC+15 % Co (3 μm) , vakuumgesintert (1450 °C), Härte 2000 HV, Verschleiß <0,05 mm³/h, Lebensdauer 800 Stunden (400 Stunden für normale Meißel).

Dichtung mit Korngradient : Oberfläche WC+10 % Ni (0,5 μm) , Kern WC+12 % Ni (2 μm) , HIP (1400 °C, 120 MPa), Seewasserkorrosionsrate <0,005 mm/Jahr, Leckrate <10⁻⁶ mbar·L /s.

Pumpenkörper mit Leistungsgradient : Oberflächenaufkohlung (1100 °C, C2H2), Härte 2100 HV, Kernzähigkeit KIC 13 MPa·m^{1/2} / ², H2SO4 (50 %) Korrosionsrate <0,01 mm/Jahr, Lebensdauer >10.000 Stunden.

5. Anwendungsszenarien

Bergbau -Picks :

Gradiententyp : Zusammensetzungsgradient (niedriger Co-Gehalt 6 Gew.-% an der Oberfläche, hoher Co-Gehalt 15 Gew.-% im Kern) .

Leistung : Oberflächenhärte 2000 HV, Verschleiß <0,05 mm³/h, Kernschlagfestigkeit , Lebensdauer um 50100 % erhöht.

Fall : WC+Co- Meißel (Ø 20 × 330 mm), vakuumgesintert, 800 Stunden Kohleabbau ohne Bruch.

Tiefseerobben :

Gradiententyp : Korngradient (Oberfläche feine Körner 0,5 μm , Kern grobe Körner 2 μm) + Ni-Basis .

Leistung : H2S/Meerwasser-Korrosionsrate <0,005 mm/Jahr, Leckrate <10⁻⁶ mbar·L /s, Druckbeständigkeit 15.000 psi.

Beispiel : YN10-Dichtungsring (Ø 50 mm), HIP+poliert (Ra <0,1 μm) , Lebensdauer >1000 Verbindungen.

Körper der Chemiepumpe :

Gradiententyp : Leistungsgradient (Oberflächenaufkohlung, Härte > 2000 HV) + Ni-Basis.

Leistung : H2SO4 (50 %) Korrosionsrate <0,01 mm/Jahr, Erosionsbeständigkeit um 30 % erhöht, Lebensdauer >10.000 Stunden.

Gehäuse : YN12-Pumpengehäuse (Ø 200 mm), HIP+TiN -Beschichtung, stabiler Betrieb mit partikelhaltigen Flüssigkeiten.

Fliegermesser :

Gradiententyp : zusammengesetzter **Gradient** (Oberfläche: Ni-Basis + feine Kristalle, Kern: Co-Basis + grobe Kristalle).

Leistung : Härte 1800–2200 HV, Zähigkeit KIC > 12 MPa·m^{1/2} / ², Schnittlebensdauer um 50 % erhöht.

Fall : WC+Co -Werkzeug (Ø 12 × 80 mm), Gradientensintern + TiAlN- Beschichtung, Schneiden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

von Ti-Legierung für 300 Minuten.

6. Optimierungsvorschläge für Gradientenhardtmetall

Pulver :

Körnung : Feinkörniges WC an der Oberfläche ($0,51 \mu\text{m}$) , mittelgrobe Körnung im Kern ($23 \mu\text{m}$) , mit einem ausgewogenen Verhältnis von Verschleißfestigkeit und Zähigkeit.

Bindungsphase : Oberfläche Ni (68 Gew.-%) + Cr₃C₂ (0,52 Gew.-%), Kern Co/Ni (1220 Gew.-%), Korrosionsbeständigkeit um 2030 % erhöht.

Kugelmahlen : 1624 Stunden, Homogenität um 10 % erhöht, Gradientenabweichung $<\pm 0,5$ Gew.-%.

Pressvorgang :

Schichtpressen : kaltsostatisches Pressen (250–300 MPa), Dicke der Übergangszone zwischen den Schichten 0,1–0,5 mm, Bindungsfestigkeit um 15 % erhöht.

Matrize : Optimierte Druckverteilung, Knüppeldefekte um 20 % reduziert, Dichteabweichung $<\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

Sinterprozess :

HIP : 1350 °C, 120 MPa, 2 Stunden, Porosität $<0,001$ %, Dichte $>99,9$ %.

Gradientensintern : Oberfläche 1450 °C, Kern 1350 °C, Temperaturregelung ± 3 °C, sanfter Leistungsübergang.

Atmosphäre : H₂-Reinheit $> 99,999$ %, O₂ < 5 ppm, Restkohlenstoff $< 0,05$ %, Korrosionsbeständigkeit um 10 % erhöht.

Nachbearbeitung :

Aufkohlen/ Nitrieren : 1100–1200 °C, C₂H₂/N₂ 510 l/min, Oberflächenhärte um 1015 % erhöht.

Polieren : Ra $<0,2 \mu\text{m}$, Korrosionsbeständigkeit um 1520 % erhöht, Reibungskoeffizient um 20 % verringert .

Beschichtung : PVD TiN /DLC ($25 \mu\text{m}$) , Verschleißfestigkeit um 3050 % erhöht.

Geräteoptimierung :

Temperaturregelung : ± 3 °C, Gleichmäßigkeit ± 5 °C, Gradientenkonsistenz um 10 % erhöht.

Vakuum : 10^{-5} Pa, Entparaffinierungseffizienz $> 99,5$ %, Porositätsreduzierung 0,01 %.

Erkennung : SEM-Analyse der Gradientenschicht, XPS-Messung der Oberflächenzusammensetzung, Genauigkeit $\pm 0,1$ Gew.-%.

7. Normen

GB/T 183762014 : Porosität $<0,01$ %, Gleichmäßigkeit >95 %.

GB/T 51692013 : Porosität A02B00C00 (Vakuum), A00B00C00 (HIP).

GB/T 38502015 : Dichte $14.515,0 \text{ g/cm}^3$, Abweichung $<\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

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

GB/T 38512015 : Biegefestigkeit 1,82,8 GPa .

GB/T 7997-2017 : Härte 1400–2200 HV.

NACE MR 0175 : H₂S/CO₂-beständig, Korrosionsrate <0,005 mm/Jahr.

ASTM G 65 : Verschleißrate <0,05 mm³/h.

8. Fazit

Gradientenhartmetall bietet durch graduelle Veränderungen der Zusammensetzung, Körnung oder Eigenschaften hohe Härte (1800–2200 HV) und Verschleiß-/Korrosionsbeständigkeit (Korrosionsrate < 0,005 mm/Jahr) an der Oberfläche sowie hohe Zähigkeit (KIC 1215 MPa·m^{1/2}) und Schlagfestigkeit im Kern. Dadurch verbessern sich Leistung und Lebensdauer von Bergbau-Meißeln, Tiefseedichtungen, Chemiepumpengehäusen und Luftfahrtwerkzeugen deutlich (Steigerung um 50–100 %). Schichtpressen, Gradientensintern und HIP-Verfahren gewährleisten eine präzise Kontrolle der Gradientenstruktur. In Kombination mit Polieren (Ra < 0,2 µm) und Nanobeschichtung (TiN /DLC) wird die Leistung weiter optimiert. Durch die Optimierung von Pulvern, Prozessen und Anlagen lassen sich Leistung und Kosteneffizienz steigern.

CTIA GROUP LTD verwendet Schichtpress- und HIP-Sintertechnologie in Kombination mit Nanobeschichtung bei der Herstellung von Gradientenkarbiddichtungen, Pumpenkörpern und Ventilen, um hochverschleißfeste und korrosionsbeständige Lösungen bereitzustellen, die den Anforderungen extremer Umgebungen wie der Tiefsee und der chemischen Industrie gerecht werden.

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

Anhang:

Gradientenkarbid-Bergbaupickel und -technologie

Schneidmeißel aus Gradientenhartmetall sind Hochleistungswerkzeuge, die für komplexe Bergbaubedingungen (wie z. B. sehr hartes Gestein, korrosive Erzsichten und hohe Stoßbelastungen) entwickelt wurden. Der Schneidkopf besteht aus Gradientenhartmetall. Durch Anpassung der Zusammensetzung (z. B. WC/Co-Verhältnis), der Korngröße ($0,55 \mu\text{m}$) und der Leistung (Härte/Zähigkeit) in radialer oder axialer Richtung wird eine optimierte Kombination aus hoher Oberflächenhärte (1800–2200 HV), Verschleißfestigkeit, hoher Kernzähigkeit (KIC 1215 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) und Stoßfestigkeit erreicht. Im Vergleich zu herkömmlichen gleichmäßigen Hartmetallmeißeln ist die Verschleißfestigkeit von Gradientenmeißeln um 20–30 % verbessert (Verschleißverlust $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{h}$), die Bruchwahrscheinlichkeit um 30–50 % reduziert und die Lebensdauer um 50–100 % (800–1500 Stunden) verlängert. Es eignet sich für umfassende Tunnelbohrmaschinen, Kohlebergbaumaschinen und Drehbohrmaschinen.

Dieser Artikel kombiniert nationale Standards (wie GB/T 183762014, GB/T 51692013) und Branchenpraktiken, bietet spezifische Gradienten-Picks, Prozessparameter und Leistungsanalysen, integriert sie in eine vollständige Kopie und empfiehlt entsprechend die Produktionskapazitäten der CTIA GROUP LTD im Bereich der Gradienten-Hartmetall-Picks.

1. Gradientenkarbid-Bergbaupickel

1.1 Ziele

Anpassung der Arbeitsbedingungen:

Gestein mit hoher Härte (Mohshärte 68, wie Sandstein und Granit).

Korrosive Mineralvorkommen ($\text{H}_2\text{S} > 100 \text{ ppm}$, pH 35, wie z. B. Eisensulfiderze).

Hohe Stoßbelastungen (515 kN, z. B. Teilschnittmaschinentrommel).

Leistungsanforderungen:

Oberflächenhärte: 1800–2200 HV, Verschleißrate $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{h}$ (ASTM G65).

Kernzähigkeit: KIC 1215 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, Biegefestigkeit 2,22,8 GPa (GB/T 38512015).

Korrosionsbeständigkeit: $\text{H}_2\text{S}/\text{H}_2\text{SO}_4$ -Korrosionsrate $< 0,005 \text{ mm/Jahr}$ (NACE MR0175).

Lebensdauer: 800–1500 Stunden (400–600 Stunden für gewöhnliche Plektren).

Kostenkontrolle: Reduzieren Sie die verwendete Co/Ni-Menge und senken Sie die Kosten um 1020 % (200.500 Yuan pro Stück).

1.1 Pick-Struktur

Gesamtstruktur:

Messerkopf: Gradientenhartmetall (WC + Co / Ni, $\varnothing 1525 \text{ mm}$, Höhe 1020 mm).

Stahlkörper: 42CrMo (vergütet, Festigkeit $> 1000 \text{ MPa}$, $\varnothing 2030 \text{ mm}$, Länge 300–400 mm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verbindung: Löten (AgCu- Legierung, Verbindungsfestigkeit > 200 MPa).

Form: Konisch (Scheitelwinkel 60–80°, geeignet für Gesteine mit hoher Härte) oder pilzförmig (geeignet für mittelharte Kohleflöze).

Gradient:

Typ: Kompositionsgradient + Körnungsgradient (Kompositgradient).

Deckschicht (03 mm):

Zusammensetzung: WC 92 Gew.-%, Co 6 Gew.-%, Cr₃C₂ 0,5 Gew.-% (korrosionsbeständig).

Körnung: WC 0,51 µm (feinkörnig, verschleißfest).

Leistung: Härte 2000–2200 HV, Verschleißfestigkeit <0,05 mm³/h, H₂S-Beständigkeit <0,005 mm/Jahr.

Übergangsschicht (36 mm):

Zusammensetzung: WC 88 Gew.-%, Co 10 Gew.-%, Cr₃C₂ 0,5 Gew.-%.

Körnung: WC 12 µm.

Eigenschaften: Härte 1800–2000 HV, Zähigkeit KIC 1012 MPa·m^{1/2}.

Kern (610 mm):

Zusammensetzung: WC 82 Gew.-%, Co 15 Gew.-%, Ni 2 Gew.-% (verbesserte Zähigkeit).

Körnung: WC 23 µm (mittelgrobe Körnung, schlagfest).

Eigenschaften: Härte 1400–1600 HV, Zähigkeit KIC 1215 MPa·m^{1/2}, Biegefestigkeit 2,2–2,8 GPa.

Geometrische Parameter:

Schneidkopfdurchmesser: Ø 20 mm (TBM-Standard).

Dicke der Gradientenschicht: 3 mm an der Oberfläche, 3 mm im Übergang und 4 mm im Kern.

Oberflächenrauheit: Ra <0,2 µm (nach dem Polieren).

Gesamtgewicht: 150–300 g (Schneidkopf 50–100 g, Stahlkörper 100–200 g).

1.3 Funktionen

Oberflächenoptimierung: feinkörniges WC+niedriger Co+Cr₃C₂-Gehalt, Verschleißfestigkeit/Korrosionsbeständigkeit um 20–30 % erhöht, geeignet für Sandstein und saure Erzschieben.

Kernverstärkung: hoher Co+-Anteil, mittelgrobes Korn, um 3050 % erhöhte Schlagfestigkeit, reduzierter Bruch (<5 % Ausfallrate).

Puffer für Übergangsschichten: Glätten Sie Zusammensetzungen-/Kornänderungen, verringern Sie die Spannungskonzentration zwischen den Schichten und erhöhen Sie die Bindungsstärke um 15 %.

Beschichtungsverstärkung: PVD CrN (2 µm), Reibungskoeffizient <0,3, Verschleißfestigkeit um 30 % erhöht.

2. Vorbereitungsprozess und Parameter

2.1 Pulveraufbereitung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rohstoff:

WC: D50 0,51 μm (Oberfläche), 23 μm (Kern), Reinheit >99,9 %.

Co: D50 12 μm , Reinheit >99,9 %, Oberfläche 6 Gew. %, Kern 15 Gew. %.

Ni: D50 12 μm , Reinheit >99,9 %, Kern 2 Gew. % (korrosionsbeständig).

Cr₃C₂: D50 0,51 μm , Reinheit >99,9 %, Oberfläche/Übergangsschicht 0,5 Gew. %.

Kugelmahlen:

Ausrüstung: Planetenkugelmühle (ZrO₂-Kugeln, Kugel-Material-Verhältnis 10:1).

Parameter: Rotationsgeschwindigkeit 300 U/min, Zeit 20 Stunden, Alkoholmedium, Gleichmäßigkeit >95 %.

Ergebnisse: Abweichung der Pulverpartikelgröße $<\pm 0,1 \mu\text{m}$, Abweichung der Zusammensetzung $<\pm 0,5 \text{ Gew.} \%$.

2.2 Schichtweises Pulverpressen

Verfahren:

Schichtform: Oberflächenschicht (WC + 6 % Co + 0,5 % Cr₃C₂, 3 mm), Übergangsschicht (WC + 10 % Co + 0,5 % Cr₃C₂, 3 mm), Kern (WC + 15 % Co + 2 % Ni, 4 mm).

Kaltisostatisches Pressen (CIP): 250–300 MPa, Haltedruck für 60 Sekunden.

Ausstattung: CIP-Pressen (Druckgenauigkeit $\pm 5 \text{ MPa}$).

Parameter:

Form : Hochpräzise Stahlform (Abweichung $<\pm 0,05 \text{ mm}$), Innenwand mit BN-Schmiermittel beschichtet.

Pressgeschwindigkeit: 510 mm/min, Übergangszonendicke 0,10,5 mm.

Rohlingsdichte: 60-70% der theoretischen Dichte (8,7-10,5 g/cm³).

Ergebnisse: Knüppelgröße $\varnothing 20 \times 10 \text{ mm}$, Dichteabweichung $<\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, Rissrate <1 %.

2.3 Gradientensintern

Methode: Vakuumsintern + HIP (heißisostatisches Pressen).

Ausrüstung:

Vakuum-Sinterofen (Molybdän- Heizelement, Vakuumgrad 10^{-5} Pa).

HIP-Ofen (Ar- Druck 100–150 MPa, Temperaturregelung $\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$).

Prozessparameter:

Entparaftinierung:

Temperatur: 200–600 $^\circ\text{C}$, Heizrate 3 $^\circ\text{C}/\text{min}$.

Atmosphäre: H₂ (Reinheit > 99,999 %, O₂ < 5 ppm), Durchflussrate 10 l/min.

Vakuumgrad: 10^{-2} Pa .

Zeit: 3 Stunden, Entwachsungsrate > 99,5 %, Restkohlenstoff < 0,05 %.

Sintern:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Temperatur: 1350–1450 °C (Oberfläche 1450 °C, Kern 1350 °C, Gradiententemperaturregelung).

Heizrate: 58°C/min.

Vakuumgrad: 10^{-4} – 10^{-5} Pa.

Warmhalten: 23 Stunden.

HIP-Nachbearbeitung:

Temperatur: 1350°C, Druck 120 MPa (Ar).

Warmhalten: 1,5 Stunden.

Abkühlung: 15 °C/min (Ar -Zwangskühlung) bis 200 °C.

Ergebnis:

Dichte: 14.815,0 g/cm³ (GB /T 38502015, Abweichung $<\pm 0,05$ g/cm³).

Porosität: $<0,001$ % (A00B00C00, GB/T 51692013).

Härte: Oberfläche 2000–2200 HV, Kern 1400–1600 HV (GB/T 7997–2017).

Schrumpfrate: 1518 %, Maßabweichung $<\pm 0,1$ mm.

2.4 Nachbearbeitung

Polieren:

Werkzeuge: Diamantpolierpaste (Korngröße 15 μ m) , Polyurethan-Polierscheibe.

Parameter: Rotationsgeschwindigkeit 800 U/min, Druck 0,3 MPa, Polierflüssigkeit (auf Wasserbasis, 5 L/min).

Zeit: 20 min/cm² .

Ergebnisse: Ra $<0,2$ μ m , Korrosionsbeständigkeit um 1520 % erhöht, Reibungskoeffizient um 20 % verringert .

PVD-Beschichtung:

Beschichtung: CrN (2 μ m , H₂S/H₂SO₄-beständig).

Ausrüstung: Magnetronspattern (Cr-Target, Reinheit $>99,99$ %).

Parameter:

Vakuumgrad: 10^{-4} Pa.

Temperatur: 300 °C (Substratglühen vermeiden).

Vorspannung: 100 V.

Gas: Ar (Reinigung), N₂ (Reaktion), Flussrate 50 sccm .

Abscheiderate: 0,5 μ m /h.

Ergebnisse: Schichthärte 1800–2200 HV, Haftung > 60 N (Kratztest), Verschleißfestigkeit um 30 % erhöht.

Löten:

Material: AgCu- Legierung (Ag 50 Gew.- %, Cu 30 Gew.- %, 700–800 °C).

Ausstattung: Hochfrequenz-Induktionslötmaschine (Leistung 15 kW).

Parameter: Temperatur 750°C, 30 Sekunden halten, Ar- Schutz (O₂ <10 ppm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ergebnisse: Verbundfestigkeit >200 MPa, Scherfestigkeit um 15 % erhöht.

Erkennung:

Oberfläche: SEM (Korn 0,51 μm), Rauheitsmessgerät ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$, Genauigkeit $\pm 0,01 \mu\text{m}$).
Gradient: XPS (Zusammensetzungsabweichung $< \pm 0,1 \text{ Gew. } \%$), Ultraschallprüfung (Riss $> 0,1 \text{ mm}$).
Leistung: Härteprüfgerät (Abweichung $< \pm 50 \text{ HV}$), Verschleißprüfung (ASTM G65, $< 0,05 \text{ mm}^3 / \text{h}$).

3. Leistungsanalyse

Parameter	Oberfläche (03 mm) Gew. %	Übergangsschicht (36 mm) Gew. -%	Kern (610 mm) Gew. %
Element	WC 92, Co 6, Cr3C2 0,5	WC 88, Co 10 Cr3C2 0,5	WC 82, Co 15, Ni 2
Getreide	WC 0,51 μm	WC 12 μm	WC 23 μm
Härte (HV)	20002200	18002000	14001600
Zähigkeit KIC, $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$	810	1012	1215
Verschleißfestigkeit (mm^3/h)	$< 0,05$	$< 0,07$	$< 0,10$
Korrosionsbeständigkeit (mm/Jahr)	H2S/H2SO4 $< 0,005$	H2S/H2SO4 $< 0,01$	H2S/H2SO4 $< 0,02$

Leistungshighlights:

Verschleißfestigkeit

Oberfläche feinkörniges WC+Cr3C2, Verschleißverlust $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{h}$ (ASTM G65), 50 % niedriger als gleichmäßiger Pickel ($0,1 \text{ mm}^3/\text{h}$).

Schlagfestigkeit

Der Kern ist reich an Co+ Ni, mit einer Biegefestigkeit von 2,22,8 GPa und einer Bruchwahrscheinlichkeit von $< 5 \%$ bei Aufprallbelastung (10 kN).

Korrosionsbeständigkeit

CrN- Beschichtung + Ni-Basis, H2S/H2SO4-Korrosionsbeständigkeit $< 0,005 \text{ mm/Jahr}$ (NACE MR0175), besser als gewöhnliche Co-basierte Spitzhacke ($0,05 \text{ mm/Jahr}$).

Leben

Die Aushubleistung erhöht sich um 20–30 % und die Lebensdauer beträgt 1000–1500 Stunden ($500\text{--}600 \text{ Stunden}$ bei herkömmlichen Spitzhacken).

Beispiele:

Umfassende Baggerauswahl

$\varnothing 20 \times 330 \text{ mm}$, WC+Co (6%Co an der Oberfläche, 15%Co im Kern), HIP (1400°C , 120 MPa), CrN- Beschichtung ($2 \mu\text{m}$), Kohlebergbau (Mohshärte 6) 1000 h, Verschleißverlust $< 0,05 \text{ mm}^3 / \text{h}$.

Spitzhacke für Kohlebergbaumaschinen

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

Ø 18 × 300 mm, WC+Ni (0,5 µm an der Oberfläche, 2 µm im Kern) , vakuumgesintert (1450 °C), H₂S-Korrosionsbeständigkeit <0,005 mm/Jahr, Lebensdauer der schwefelhaltigen Erzschiht 1200 Stunden.

Drehbohrmaschinen-Meißel

Ø 25 × 400 mm, WC+Co (Oberflächenaufrichten), HIP+Polieren (Ra <0,2 µm) , Granitaushub 1100 Stunden, Bruchrate <3%.

4. Anwendungsszenarien

Umfassende Teilschnittmaschinenauswahl :

Arbeitsbedingungen: Kohleflöz mit hoher Härte (Mohshärte 57), Sandstein/Schiefer, Aufprall 510 kN .

Zusammensetzungsgradient (6 % Co an der Oberfläche, 15 % Co im Kern), CrN- Beschichtung (2 µm) .

Leistung: Härte 2000–2200 HV, Verschleiß <0,05 mm³/h, Lebensdauer 1000 Stunden.

Fall: WC+Co- Meißel (Ø 22 × 350 mm), Effizienzsteigerung im Kohleabbau um 20 %, kein Bruch

Auswahl einer Kohlebergbaumaschine:

Arbeitsbedingungen: mittelharte Kohleflöze (Mohshärte 35), sulfidhaltig (H₂S >100 ppm).

: Korngradient (Oberfläche 0,5 µm , Kern 2 µm) , Ni-Basis + Cr₃C₂.

Leistung: H₂S-Beständigkeit <0,005 mm/Jahr, Lebensdauer 1200 Stunden.

Fall: YN10-Meißel (Ø 18 × 300 mm), stabiler Abbau in schwefelhaltigen Schichten.

Auswahl der Drehbohranlage:

Arbeitsbedingungen: Granit (Mohshärte 68), Schlagkraft >15 kN .

: Eigenschaftsgradient (Aufkohlung, Härte > 2000 HV), hoher Co-Kern.

Leistung: Verschleißrate <0,04 mm³/h, Lebensdauer 1100 Stunden.

Fall: WC+Co- Meißel (Ø 25 × 400 mm), Effizienzsteigerung um 15 %, Bruchrate < 3 %.

Saure Erzpickel:

Arbeitsbedingungen: saure Umgebung (pH 35, H₂SO₄/H₂S).

Verbundgradient (Ni+Cr₃C₂ an der Oberfläche, Co im Kern), CrN- Beschichtung.

Leistung: H₂SO₄-Beständigkeit <0,01 mm/Jahr, Lebensdauer 1500 Stunden.

Gehäuse: YN12-Meißel (Ø 20 × 330 mm), Lebensdauer in sauren Erzschihten beträgt 1500 Stunden.

5. Optimierungsvorschläge

Pulveroptimierung:

Oberfläche: WC 0,51 µm , Co 6 Gew. %, Cr₃C₂ 0,5 Gew. %, Korrosionsbeständigkeit um 2030 % erhöht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kern: WC 23 μm , Co 15 Gew. %, Ni 2 Gew. %, Zähigkeit um 20 % erhöht.

Kugelmahlen: 20 Stunden, Homogenität >95%, Abweichung $\leq \pm 0,5$ Gew.-%.

Unterdrückungsoptimierung:

Kaltisostatisches Pressen: 250–300 MPa, Übergangszone 0,1–0,5 mm, Bindungsfestigkeit um 15 % erhöht.

Matrize: BN-Schmierung, Rissreduzierung 20 %, Dichteabweichung $\leq \pm 0,1$ g/cm³.

Sinteroptimierung:

HIP: 1350 °C, 120 MPa, 2 Stunden, Porosität <0,001 %.

Gradientensintern: Oberfläche 1450°C, Kern 1350°C, Temperaturregelung $\pm 3^\circ\text{C}$.

Atmosphäre: H₂ (O₂ <5 ppm), Restkohlenstoff <0,05 %, Korrosionsbeständigkeit um 10 % erhöht.

Nachbearbeitungsoptimierung:

Aufkohlen: 1100 °C, C₂H₂ 5 L/min, Härtezunahme 1015 %.

Polieren: Ra <0,2 μm , Korrosionsbeständigkeit um 1520 % erhöht.

Beschichtung: PVD CrN (2 μm), Verschleißfestigkeit um 30 % erhöht, H₂S-Beständigkeit um 20 % erhöht.

Löten: AgCu (750 °C), Bindungsstärke >200 MPa.

Geräteoptimierung:

Sinterofen: Temperaturregelung $\pm 3^\circ\text{C}$, Gleichmäßigkeit $\pm 5^\circ\text{C}$, Gradientenkonsistenz um 10 % erhöht.

Vakuum: 10^{-5} Pa, Entparaffinierungseffizienz > 99,5 %, Porositätsreduzierung 0,01 %.

Prüfung: SEM/XPS (Genauigkeit $\pm 0,1$ Gew.-%), Ultraschall (Riss > 0,1 mm).

Anpassung der Arbeitsbedingungen:

Gestein mit hoher Härte: Zusammensetzungsgradient + CrN- Beschichtung, Verschleißfestigkeit steht an erster Stelle.

Korrosive Mineralschicht: Ni-basiert + Cr₃C₂, beständig gegen H₂S/H₂SO₄.

Hohe Schlagfestigkeit: Leistungsgradient + hohes Co, Priorität bei der Bruchfestigkeit.

6. Normen

GB/T 183762014: Porosität <0,01 %, Gleichmäßigkeit >95 %.

GB/T 51692013: Porosität A02B00C00 (Vakuum), A00B00C00 (HIP).

GB/T 38502015: Dichte 14.515,0 g/cm³, Abweichung $\leq \pm 0,1$ g/cm³.

GB/T 38512015: Biegefestigkeit 1,82,8 GPa.

GB/T 7997-2017: Härte 1800–2200 HV.

NACE MR0175: H₂S/CO₂-beständig, Korrosionsrate <0,005 mm/Jahr.

ASTM G65: Verschleißrate <0,05 mm³/h.

ISO 6508: Härteabweichung $\leq \pm 50$ HV.

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

7. Fazit

Gradienten-Hartmetall-Bergbaumeißel erreichen eine hohe Oberflächenhärte (2000–2200 HV), Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit ($H_2S/H_2SO_4 < 0,005 \text{ mm/Jahr}$) sowie eine hohe Kernzähigkeit ($KIC 1215 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) und Schlagfestigkeit durch sorgfältige Zusammensetzung und Korngradient (Oberfläche WC + 6 % Co + 0,5 % Cr₃C₂, Kern WC + 15 % Co + 2 % Ni), kombiniert mit Schichtpressen, HIP-Sintern (1350 °C, 120 MPa), Polieren ($Ra < 0,2 \mu\text{m}$) und PVD- CrN-Beschichtung (2 μm). Die Lebensdauer der Meißel beträgt 1000–1500 Stunden (Steigerung um 50 % bis 100 %), und die Abbauleistung wird um 20–30 % gesteigert. Sie eignen sich für hartes Gestein, korrosive Erzsichten und stoßbelastete Arbeitsbedingungen. Durch die Optimierung der Pulverdosierung sowie der Press-, Sinter- und Nachbearbeitungsprozesse können Leistung und Kosteneffizienz weiter verbessert werden, um den hohen Anforderungen von Mehrzweck-Tunnelbohrmaschinen, Kohlebergbaumaschinen und Drehbohranlagen gerecht zu werden.

CTIA GROUP LTD nutzt fortschrittliche Schichtpress-, HIP-Sinter- und PVD-Beschichtungstechnologie im Bereich der Gradienten-Hartmetall-Bergbaumeißel, um verschleißfeste, korrosionsbeständige und schlagfeste Meißellösungen anzubieten, die den Anforderungen komplexer geologischer und saurer Schichten gerecht werden. Die Produkte werden mittels SEM-, XPS- und Verschleißtests geprüft, um eine stabile Leistung zu gewährleisten (Härteabweichung $\leq \pm 50 \text{ HV}$, Verschleißvolumen $< 0,05 \text{ mm}^3/\text{h}$).

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

Anhang:

Anwendung von Hartmetall in Flugzeugdüsen

1. Übersicht über Luftfahrtdüsen

Flugdüsen sind Kernkomponenten von Flugtriebwerken (wie Turbokraft- und Wellenleistungstriebwerken) und Gasturbinen. Sie dienen der präzisen Steuerung der Kraftstoffeinspritzung, der Luftmischung oder des Hochtemperatur-Gasstroms zur Optimierung von Verbrennungseffizienz, Schub und Wärmemanagement. Düsen müssen extremen Arbeitsbedingungen standhalten: hohen Temperaturen (1000–1600 °C), hohem Druck (10–30 MPa), Erosion durch Hochgeschwindigkeits-Luftstrom (> 500 m/s) und chemischer Korrosion (wie beispielsweise durch Kraftstoffsulfide). Herkömmliche Werkstoffe (wie Edelstahl und Nickellegierungen) können die Anforderungen moderner Flugtriebwerke hinsichtlich hoher Leistung und langer Lebensdauer hinsichtlich Verschleißfestigkeit und Warmfestigkeit zunehmend nicht mehr erfüllen. Hartmetall (WC-Co) hat sich aufgrund seiner hervorragenden Härte, Verschleißfestigkeit und Hochtemperaturstabilität zu einem idealen Werkstoff für Flugdüsen entwickelt, insbesondere für Präzisionsdüsen (wie Kraftstoffdüsen, Kühllochdüsen) und verschleißfeste Teile (wie Düsenhäuse).

2. Werkstoffeigenschaften von Hartmetall (WC-Co)

Hartmetall besteht aus Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase. Die typische Zusammensetzung beträgt 85–95 Gew.-% WC und 5–15 Gew.-% Co. Aufgrund seiner wichtigsten Eigenschaften eignet es sich für Flugzeugdüsen:

Hohe Härte: HV1000–1800, übertrifft Nickelbasislegierungen (HV300–500) bei weitem und gewährleistet Verschleißfestigkeit und Erosionsbeständigkeit.

Hohe Temperaturstabilität: Der Schmelzpunkt von WC liegt bei 2870 °C, die Co-Phase bleibt unter 1400 °C stabil, geeignet für Hochtemperatur-Gasumgebungen.

Korrosionsbeständigkeit: Beständig gegen Kraftstoffsulfid und Oxidationskorrosion und verlängert die Lebensdauer der Düse (20–50 % länger als Legierungen auf Nickelbasis).

Hohe Festigkeit: Biegefestigkeit 2000–2500 MPa, Druckfestigkeit >4000 MPa, hält dem Aufprall eines Hochdruckluftstroms stand.

Einstellbare Zähigkeit: Durch die Anpassung des Co-Gehalts (hoher Co-Gehalt verbessert die Zähigkeit, niedriger Co-Gehalt erhöht die Härte) können die Anforderungen verschiedener Teile der Düse erfüllt werden.

Mikrostruktur: WC-Korngröße 0,5–2 µm, gleichmäßige Kobaltphasenverteilung, die konstante mechanische Eigenschaften gewährleistet.

Dank dieser Eigenschaften ist Hartmetall in der Lage, der kombinierten Belastung durch hohe Temperaturen, hohen Druck und Erosion in Flugzeugdüsen standzuhalten, wodurch die Leistung und Zuverlässigkeit der Triebwerke deutlich verbessert wird. web: 9,23 ? .

3. Herstellungsprozess einer Hartmetall-Flugzeugdüse

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Flugzeugdüsen stellen extrem hohe Anforderungen an Maßgenauigkeit ($\pm 0,01$ mm), Oberflächengüte ($R_a < 0,4 \mu\text{m}$) und Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur. Die Herstellung von Hartmetall erfordert eine präzise Steuerung. Der Prozess umfasst Pulveraufbereitung, Pressen, Sintern und Nachbearbeitung, wobei kaltisostatisches Pressen (CIP) und heißisostatisches Pressen (HIP) Schlüsseltechnologien sind.

3.1 Pulveraufbereitung

Rohstoffe: Ultrafeines WC-Pulver (Partikelgröße $0,2\text{--}1 \mu\text{m}$) und Co-Pulver (Reinheit $> 99,9\%$), zur Gewährleistung der Homogenität in einer Kugelmühle gemischt.

Additive: Eine kleine Menge Titancarbid (TiC) oder Niobcarbid (NbC) zur Verbesserung der Oxidationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen; Paraffin als Formmittel.

Ziel: Ein Mischpulver mit guter Fließfähigkeit und gleichmäßiger Partikelverteilung zu erhalten und Pressfehler zu reduzieren.

3.2 Kaltisostatisches Pressen (CIP)

CIP wird zum Pressen von Gründüsen verwendet und gewährleistet eine gleichmäßige Verdichtung komplexer Geometrien wie beispielsweise Mehrlochdüsen:

Verfahren: Das gemischte Pulver wird in eine Gummiform gefüllt, in ein CIP-Gerät gestellt und über mehrere Minuten hinweg mit einem Druck von $100\text{--}400$ MPa durch ein flüssiges Medium (Wasser oder Öl) beaufschlagt.

Vorteile: Gleichmäßiger Druck verhindert Abplatzungen und Delaminationen, geeignet für komplexe Düsenstrukturen (wie Innenkanäle, Düsenlöcher mit Durchmesser < 1 mm).

Ergebnisse: Die Gründichte erreichte $60\text{--}70\%$ der theoretischen Dichte und die Maßgenauigkeit betrug $\pm 0,1$ mm, was eine Grundlage für das Sintern bot.

Herausforderung: Unzureichende Pulverfließfähigkeit kann zu ungleichmäßiger Dichte führen und die Partikelverteilung muss optimiert werden.

3.3 Vakuumsintern

Das Vakuumsintern wird bei $1350\text{--}1450$ °C durchgeführt und die Verdichtung wird durch Flüssigphasensintern (Co-Phasenschmelzen) erreicht:

Verfahren: Der CIP-Grünkörper wird in einem Vakuumofen erhitzt und die Co-Phase benetzt die WC-Partikel im flüssigen Zustand, wodurch die Partikelumlagerung und Porenschließung gefördert wird.

des Knüppels erreichte $90\text{--}95\%$ der theoretischen Dichte, die Korngröße wurde auf $0,5\text{--}1 \mu\text{m}$ kontrolliert und die Schrumpfung betrug $15\text{--}20\%$.

Herausforderung: Durch Sinterschrumpfung kann es zu Maßabweichungen kommen, die eine präzise Kontrolle der Temperatur und Haltezeit erfordern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.4 Heißisostatisches Pressen (HIP)

HIP als Nachbehandlung verbessert die Düsendichte und Leistung weiter:

Ablauf: Der gesinterte Rohling wird in eine HIP-Anlage eingelegt und bei 1200–1400°C und 50–200 MPa Argondruck 1–4 Stunden lang behandelt.

Vorteile: Beseitigt Mikroporen (Porosität < 0,1 %), Risse und Eigenspannungen, erhöht die Härte um 5–10 % (HV1600–1800) und erhöht die Biegefestigkeit um 10–20 % (2000–2500 MPa).

Ergebnisse: Die Düsendichte liegt nahe bei 100 % der theoretischen Dichte und die Oberflächengüte Ra beträgt weniger als 0,4 µm, wodurch die Präzisionsanforderungen der Luftfahrt erfüllt werden.

Herausforderungen: Hohe Kosten (Ausrüstungskosten ca. 10–30 Millionen RMB) und lange Prozesszeiten schränken die Massenproduktion ein.

3.5 Präzisionsbearbeitung

Verfahren: Diamantschleifen, Funkenerosion (EDM) oder Lasermikrobearbeitung werden verwendet, um Düsenmikroporen (0,1–1 mm Durchmesser) und komplexe Strömungskanäle zu bilden.

Ziel: Maßgenauigkeit ($\pm 0,01$ mm) und Oberflächengüte sicherstellen und Sprühgleichmäßigkeit optimieren.

Herausforderung: Die hohe Härte von Hartmetall erschwert die Verarbeitung und erfordert hochpräzise Geräte (z. B. eine Fünf-Achsen-CNC).

4. Leistungsvorteile von Hartmetall-Flugdüsen

Im Vergleich zu herkömmlichen Düsen aus Nickellegierungen oder Keramik bieten Hartmetall-Flugzeugdüsen folgende Vorteile:

Verschleißfestigkeit: Härte HV1600–1800, beständig gegen Erosion durch Hochgeschwindigkeitsluftstrom, um 30–50 % verlängerte Lebensdauer (5000–8000 Stunden).

Hochtemperaturbeständigkeit: Es behält seine strukturelle Stabilität bei 1400 °C und weist eine bessere Wärmeschockbeständigkeit auf als Nickelbasislegierungen (Wärmeausdehnungskoeffizient $5-7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$).

Dimensionsstabilität: Der CIP+HIP-Prozess gewährleistet die Genauigkeit der Mikroporen und Strömungskanäle ($\pm 0,01$ mm) und verbessert so die Effizienz der Kraftstoffeinspritzung (Verbrennungseffizienz +5–10 %).

Korrosionsbeständigkeit: widersteht Kraftstoffsulfidkorrosion, reduziert Düsenverstopfung und Leistungsabfall.

- Partikelgröße (0,2–2 µm) und des Co-Gehalts (5–15 Gew.-%) können Härte und Zähigkeit ausgeglichen werden, um unterschiedliche Düsenanforderungen zu erfüllen (z. B. hohe Härte für Hochdruck-Kraftstoffdüsen und hohe Zähigkeit für Kühltüsen).

5. Anwendungsszenarien

Hartmetall-Flugdüsen werden häufig in den folgenden Bereichen der Luftfahrt eingesetzt:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Turbofan-Triebwerke: wie GE9X und PW4000, für Kraftstoffdüsen (0,1–0,5 mm Durchmesser) und Kühllochdüsen zur Optimierung der Verbrennung und des Wärmemanagements.

Wellenleistungstriebwerke: wie T700 (für Hubschrauber), werden für verschleißfeste Düsenhäuse verwendet, um der Gaserosion bei hohen Temperaturen standzuhalten.

Gasturbinen: wie die Siemens SGT-8000H zur industriellen Stromerzeugung, bei der Düsen zur präzisen Gasverteilung und damit zur Verbesserung der Effizienz eingesetzt werden.

Triebwerke für die Luft- und Raumfahrt: wie beispielsweise Treibstoffdüsen von Raketentriebwerken, die extrem hohen Temperaturen und Drücken ($> 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $> 20\text{ MPa}$) ausgesetzt sind.

Typischer Fall: Das in der Boeing 787 verwendete GE9X-Triebwerk verwendet eine WC-Co-Düse, die eine um 40 % längere Lebensdauer als die einer Nickellegierung und eine um 7 % höhere Verbrennungseffizienz aufweist. web:9.

6. Herausforderungen und Einschränkungen

Obwohl Hartmetall-Flugzeugdüsen eine hervorragende Leistung aufweisen, stehen sie dennoch vor den folgenden Herausforderungen:

Herstellungskosten: Die hohen Kosten der HIP-Ausrüstung und der Präzisionsbearbeitung (die Herstellungskosten einer einzelnen Düse betragen etwa 10.000–50.000 RMB) schränken groß angelegte Anwendungen ein.

Verarbeitungsschwierigkeiten: Eine hohe Härte (HV1600–1800) erschwert die Mikrolochverarbeitung und erfordert teure Geräte (wie etwa Lasermikroverarbeitung, die etwa 5 Millionen RMB kostet).

Zähigkeitsbeschränkung: WC-Co mit hoher Härte ($\text{Co} < 10\text{ Gew. \%}$) hat eine geringere Zähigkeit als Legierungen auf Ni-Basis (Bruchzähigkeit K_{IC} 10–15 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ gegenüber 50 – 100 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) und kann bei extremen Stößen reißen.

Gewicht: Die Dichte von Hartmetall (14–15 g/cm^3) ist höher als die von Nickelbasislegierungen (8–9 g/cm^3), daher muss das Design optimiert werden, um das Gewicht zu reduzieren.

Auswirkungen auf die Umwelt: Der hohe Energieverbrauch von HIP (500–1000 kWh pro Charge) und die Knappheit der Kobaltressourcen (die weltweiten Reserven betragen etwa 7 Millionen Tonnen) erhöhen die Produktionskosten und die Umweltbelastung. web:23.

7. Zukünftige Entwicklungsrichtung

Um den Herausforderungen zu begegnen und die Wettbewerbsfähigkeit von Hartmetall-Flugzeugdüsen zu steigern, umfassen die zukünftigen Entwicklungsrichtungen:

Nano-Hartmetall

Entwickeln Sie Materialien mit ultrafeiner WC-Partikelgröße ($< 0,2\text{ }\mu\text{m}$), um die Härte (HV1800–2000) und Zähigkeit (K_{IC} 15–20 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) zu verbessern und so höhere Leistungsanforderungen zu erfüllen.

Grüne Fertigung

Optimieren Sie den HIP-Prozess (z. B. Niedertemperatur-HIP, 1000–1200 $^{\circ}\text{C}$), um den

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Energieverbrauch um 30–50 % zu senken; entwickeln Sie eine Technologie zur Kobaltrückgewinnung, um den Ressourcendruck zu verringern.

Additive Fertigung

Entdecken Sie den 3D-Druck von Hartmetalldüsen (z. B. selektives Lasersintern (SLS), um eine integrierte Formgebung komplexer Strömungskanäle zu erreichen und die Verarbeitungskosten um 20–30 % zu senken.

Verbundwerkstoffe

Die Kombination von Hartmetall mit keramischen Beschichtungen (wie ZrO_2) verbessert die Hochtemperaturbeständigkeit (>1600°C) und die Korrosionsbeständigkeit.

Intelligentes Design

CFD (Computational Fluid Dynamics) wird verwendet, um den Düsenströmungsweg zu optimieren, die Einspritzeffizienz (+10 %) zu verbessern und den Kraftstoffverbrauch zu senken.

8. Übersichtstabelle: Wichtige Merkmale und Herstellungspunkte von Hartmetall-Flugzeugdüsen

Projekt	beschreiben
Materialzusammensetzung	WC 85–95 Gew.-%, Co 5–15 Gew.-%, optionale TiC- / NbC- Zusätze
Hauptmerkmale	Härte HV1600–1800, Biegefestigkeit 2000–2500 MPa, Temperaturbeständigkeit 1400°C, Korrosionsbeständigkeit
Herstellungsprozess	Pulveraufbereitung → CIP (100–400 MPa, Raumtemperatur) → Vakuumsintern (1350–1450 °C) → HIP (50–200 MPa, 1200–1400 °C) → Präzisionsbearbeitung (EDM, Laser)
CIP-Funktion	Bildet einen gleichmäßigen Grünkörper (Dichte 60–70 %), geeignet für komplexe Düsenstrukturen
HIP-Effekt	Eliminieren Sie Mikroporen (Dichte ~100 %), erhöhen Sie die Härte um 5–10 % und die Festigkeit um 10–20 %
Anwendungsszenario	Kraftstoffdüsen für Turbofan-/Turbowellentriebwerke, Kühltüsen, Gasturbinendüsen
Leistungsvorteile	Lebensdauer um 30–50 % verlängert, Verbrennungseffizienz um 5–10 % erhöht, Maßgenauigkeit ±0,01 mm
Herausforderung	Hohe Kosten (10.000-50.000 Yuan/Stück), schwierig zu verarbeiten, begrenzte Zähigkeit, hohes Gewicht
Zukünftige Richtungen	Nanohartlegierung, grünes HIP, 3D-Druck, Verbundbeschichtung, CFD-Optimierung

veranschaulichen:

Materialien und Eigenschaften: Basierend auf der typischen Zusammensetzung und den Eigenschaften von WC-Co.

Herstellungsprozess: umfasst CIP, HIP und den gesamten Verarbeitungsprozess.

Leistung und Herausforderungen: Quantifizieren Sie Vorteile (z. B. Lebensdauer, Effizienz) und Einschränkungen (z. B. Kosten, Robustheit).

Datenquelle: USGS-Bericht 2024 und Herstellungsstandards für Hartmetall ? web:9,23 ? .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9. Fazit

Hartmetall (WC-Co) hat sich aufgrund seiner hohen Härte, Verschleißfestigkeit und Temperaturstabilität zum bevorzugten Material für Flugzeugdüsen entwickelt und verbessert die Leistung und Lebensdauer von Turbofan-Triebwerken, Wellenleistungstriebwerken und Gasturbinen deutlich. Durch kaltisostatisches Pressen (CIP) zur Bildung eines gleichmäßigen Grünkörpers, Vakuumsintern zur anfänglichen Verdichtung und heißisostatisches Pressen (HIP) zur Optimierung von Mikrostruktur und Leistung können Hartmetalldüsen eine theoretische Dichte von nahezu 100 %, eine Maßgenauigkeit von $\pm 0,01$ mm und eine Lebensdauerverlängerung von 30–50 % erreichen. Hohe Herstellungskosten, Verarbeitungsschwierigkeiten und Zähigkeitsbeschränkungen müssen jedoch noch überwunden werden. Die Weiterentwicklung von Nano-Hartmetall, umweltfreundlicher Fertigung und additiver Fertigungstechnologie wird die Düsenleistung künftig weiter verbessern, Kosten senken und die Entwicklung der Luftfahrtindustrie in eine effiziente und nachhaltige Richtung fördern. Der Einsatz von Hartmetall-Flugzeugdüsen stellt nicht nur einen Meilenstein in der Werkstofftechnologie dar, sondern trägt auch maßgeblich zur Zuverlässigkeit und Effizienz von Flugzeugtriebwerken bei.

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

Anhang:

ISO 14923:2003

Thermisches Spritzen – Charakterisierung und Prüfung thermischer Spritzbeschichtungen

1. Geltungsbereich

Diese Internationale Norm legt Verfahren zur Charakterisierung und Prüfung thermischer Spritzbeschichtungen fest. Sie ist anwendbar auf Beschichtungen, die durch verschiedene thermische Spritzverfahren (z. B. Plasmaspritzen, Flamm-spritzen, Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzen usw.) hergestellt werden, einschließlich metallischer, keramischer und Verbundbeschichtungen.

Anwendbare Objekte : einschließlich, aber nicht beschränkt auf Hartmetallbeschichtungen (wie WC-Co, Cr₃C₂-NiCr) .

Ausschlüsse : Es werden keine Bestimmungen zu spezifischen Parametern des Beschichtungsvorbereitungsprozesses getroffen, der Schwerpunkt liegt lediglich auf den Testmethoden.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente und deren Abschnitte werden durch Verweis in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm.

ISO 4287:1997 – Geometrische Produktspezifikationen (GPS) – Oberflächentextur: Profilmethode – Begriffe, Definitionen und Parameter der Oberflächentextur.

ISO 6507-1:2005 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Vickers – Teil 1: Prüfverfahren.

ISO 14916:2017 – Thermisches Spritzen – Zugversuch zur Ermittlung der Haftfestigkeit von Beschichtungen.

ISO 14918:1998 – Thermisches Spritzen – Dokumentation der Inspektions- und Abnahmeprüfungen.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet:

Thermische Spritzbeschichtung : Eine Beschichtung, die durch Aufbringen von geschmolzenem oder halbgeschmolzenem Material auf die Oberfläche eines Substrats mittels eines thermischen Spritzverfahrens entsteht.

Haftfestigkeit : Die maximale Zugspannung zwischen der Beschichtung und dem Substrat bzw. der Beschichtung, ausgedrückt in MPa .

Porosität : Der Prozentsatz des Porenvolumens in der Beschichtung im Verhältnis zum Gesamtvolumen, ausgedrückt in %.

Härte : Die Fähigkeit einer Beschichtung, lokaler plastischer Verformung zu widerstehen, normalerweise ausgedrückt in Vickershärte (HV).

Dicke : Der vertikale Abstand von der Substratoberfläche bis zur Oberseite der Beschichtung, gemessen in µm .

4. Testmethoden

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

4.1 Schichtdicke

Methode : Messen Sie mit einem optischen Mikroskop oder einem magnetischen/Ultraschall-Dickenmessgerät.

Probenvorbereitung : Schneiden Sie entlang des Beschichtungsquerschnitts, schleifen und polieren Sie, die Mikroskopvergrößerung beträgt 50- bis 200-fach .

Messpunkte : mindestens 5 zufällig ausgewählte Punkte , Durchschnittswert berechnen.

Toleranz : Dickenabweichung $\pm 10\%$ oder $\pm 20\ \mu\text{m}$ (je nachdem, welcher Wert größer ist).

4.2 Haftfestigkeit

Methode : Zugversuche wurden gemäß ISO 14916 durchgeführt, wobei die beschichteten Proben mit einem Klebstoff an der Prüfvorrichtung befestigt wurden.

Probenvorbereitung : zylindrische Probe mit einem Durchmesser von 25 mm und einer Dicke von $\geq 5\ \text{mm}$ sowie einer Beschichtungsdicke von $\geq 0,1\ \text{mm}$.

Testbedingungen : Belastungsgeschwindigkeit 1–5 MPa/s, Aufzeichnung der maximalen Zugkraft.

Bericht : Haftfestigkeitswert, Einheit: MPa, der Test wird dreimal wiederholt und der Durchschnittswert ermittelt.

4.3 Härte

Methode : Der Vickers-Härtetest wurde gemäß ISO 6507-1 durchgeführt.

Prüfbedingungen : Belastung 9,807 N (HV 0,1) bzw. 49,03 N (HV 0,5), Eindringkörperhaltezeit 10-15 s.

Messpunkte : Mindestens 5 **Punkte** auf der Beschichtungsoberfläche, Kanten und Defekte vermeiden.

Bericht : Härtewert HV, Abweichung $\pm 5\%$.

4.4 Porosität

Methoden : Querschnitte wurden mithilfe optischer Mikroskopie oder Rasterelektronenmikroskopie (REM) analysiert.

Probenvorbereitung : Schleifen und Polieren des Beschichtungsquerschnitts, 100- bis 500-fache Mikroskopvergrößerung .

Messung : Wählen Sie zufällig 5 Sichtfelder aus und berechnen Sie den Prozentsatz der Porenfläche.

Toleranz : Abweichung des Messergebnisses $\pm 0,5\%$.

4.5 Oberflächenrauheit

Methode : Gemessen mit einem Tastschnittmessgerät gemäß ISO 4287.

Parameter : Ra (arithmetischer Mittenrauwert), Rz (Zehnpunkthöhe), Probenlänge 2,5 mm.

Messpunkte : mindestens 3 parallele Linien , Durchschnittswert berechnen.

Toleranz : Ra - Abweichung $\pm 0,5\ \mu\text{m}$.

4.6 Mikrostrukturanalyse

Methoden : Die Zusammensetzung und Defekte der Beschichtungsphase wurden mittels SEM oder Röntgenbeugung (XRD) analysiert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Probenvorbereitung : Beschichtung von Querschnitten oder Oberflächen, Gold- oder Kohlenstoffbeschichtung zur Leitfähigkeitserhöhung.

Berichte : Phasenzusammensetzung (z. B. WC, Co), Riss- und Oxidverteilung.

5. Testbedingungen

Umgebung : Temperatur 20 ± 5 °C, Luftfeuchtigkeit < 60 %, Staub und Vibrationen vermeiden.

Gerätekalibrierung : Alle Testinstrumente werden jährlich gemäß ISO/IEC 17025 kalibriert .

Probenmenge : Mindestens 3 Proben pro Charge, repräsentative Prüfung .

6. Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

Informationen zum Beschichtungsmaterial und Substrat (chemische Zusammensetzung, Dicke).

Prüfverfahren und -bedingungen (Normnummer, Gerätemodell).

Messergebnisse (Dicke, Haftfestigkeit, Härte, Porosität, Rauheit).

Ergebnisse der Mikrostrukturanalyse (Fotos, Phasenzusammensetzung).

Bias- und Unsicherheitsanalyse.

Testdatum und Unterschrift des Bedieners.

7. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit : Geeignet für thermische Spritzbeschichtungen in der Industrie, der Luft- und Raumfahrt sowie im Energiesektor.

Einschränkungen : Nicht geeignet für ultradünne Beschichtungen < 0,1 mm Dicke.

Für die Prüfung der Eigenspannungen innerhalb der Beschichtung gibt es keine Regelung, es muss auf andere Normen (wie etwa ISO 13703) verwiesen werden.

8. Anhang (Referenz)

Anhang A : Empfohlene Mikroskopvergrößerung und Sichtfeldauswahl.

Anhang B: Leitfaden zur Klebstoffauswahl bei der Prüfung der Haftfestigkeit (Epoxidharz wird empfohlen, Festigkeit ≥ 70 MPa).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

ISO 14919:2015

Seile für Flamm- und Lichtbogenspritzen

- Klassifizierung - Technische Lieferbedingungen

1. Geltungsbereich

Diese Internationale Norm legt die Klassifizierung, die technischen Lieferbedingungen und die Abnahmeanforderungen für Drähte, Stäbe und Seile zum Flamm- und Lichtbogenspritzen fest.

Zielkunden

Beinhaltet Metall-, Legierungs- und Verbunddrähte (wie Zink-, Aluminium- und Hartmetall-basierte Verbundwerkstoffe), die beim thermischen Spritzen zur Herstellung verschleiß- und korrosionsbeständiger Beschichtungen verwendet werden.

Nicht enthalten

Es handelt sich dabei nicht um Pulverwerkstoffe (wie Hartmetallpulver WC-Co) oder Werkstoffe, die nicht für das thermische Spritzen verwendet werden.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente und deren Abschnitte werden durch Verweis in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm.

ISO 544:2017 – Schweißzusätze – Technische Lieferbedingungen – Produktarten, Maße, Toleranzen und Kennzeichnung.

ISO 9001:2015 – Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen.

ISO 10204:2017 – Metallerzeugnisse – Arten von Prüfdokumenten.

ISO 14918:2018 – Thermisches Spritzen – Dokumentation der Inspektions- und Abnahmeprüfungen.

Hinweis : Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils neuste Version.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet:

Draht : Ein durchgehendes, dünnes Metall- oder Legierungsmaterial, das zum thermischen Spritzen verwendet wird und normalerweise einen Durchmesser von 1,0 bis 4,0 mm hat.

Stab : Ein starres Stabmaterial aus Metall oder Keramik, das zum thermischen Spritzen verwendet wird und normalerweise 300–1000 mm lang ist.

Kordel : Sie besteht aus mehreren miteinander verflochtenen Drähten oder Fasern und enthält thermisch aufgespritzte Materialien (wie etwa Keramikpartikel).

Flamm-spritzen : Ein Verfahren, bei dem ein Brenngas (z. B. Acetylen) mit Sauerstoff verbrannt wird, um das Spritzmaterial zu schmelzen und auf die Oberfläche des Substrats zu spritzen.

Lichtbogenspritzen : Ein Verfahren, bei dem ein Lichtbogen zwischen zwei Drähten verwendet wird, um das Material zu erhitzen, zu schmelzen und auf die Oberfläche des Substrats zu spritzen.

4. Klassifizierung

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

4.1 Klassifizierung nach Materialart

Reine Metalle :

Zink (Zn): Reinheit $\geq 99,9\%$.

Aluminium (Al): Reinheit $\geq 99,5\%$.

Legierung :

Zink-Aluminium-Legierung (Zn-Al): wie Zn85Al15.

Kupfer-Zink-Legierung (Cu-Zn): wie beispielsweise Cu70Zn30.

Nickelbasierte Legierung (Ni-Cr): wie Ni80Cr20.

Verbundwerkstoffe :

Metall-Keramik-Verbundseil: beispielsweise Ni-Al₂O₃.

Verbundwerkstoffe auf Hartmetallbasis: wie z. B. WC-Co-Verbunddraht (Co 5–15 Gew.-%).

4.2 Klassifizierung nach Form

Draht : 1,0–4,0 mm Durchmesser, in Spulen oder geraden Linien.

Stäbe : Durchmesser 3,0–8,0 mm, Länge 300–1000 mm.

Seilmaterial : 2,0–6,0 mm Durchmesser, enthält Keramik- oder Metallpartikel.

5. Technische Lieferbedingungen

5.1 Chemische Zusammensetzung

Anforderungen : Die chemische Zusammensetzung muss der Materialklassifizierung mit folgenden Abweichungen entsprechen:

Hauptelemente (wie Zn, Al): $\pm 0,5\%$.

Legierungselemente (wie Cr, Co): $\pm 1,0\%$.

Verunreinigungen (wie O, S): insgesamt $< 0,5\%$.

Testmethode : Spektroskopische Analyse (ICP-OES) oder chemische Titration.

5.2 Maße und Toleranzen

Drahtdurchmesser : 1,0–4,0 mm, Toleranz $\pm 0,05$ mm.

Stabdurchmesser : 3,0–8,0 mm, Toleranz $\pm 0,1$ mm.

Seildurchmesser : 2,0–6,0 mm, Toleranz $\pm 0,2$ mm.

Längentoleranz (Stab): ± 5 mm.

5.3 Oberflächenqualität

Anforderungen : Die Oberfläche sollte frei von Rissen, Oxidschichten, Ölflecken oder anderen Mängeln sein.

Prüfmethode : Sichtprüfung oder Mikroskop (10-fache Vergrößerung).

5.4 Physikalische Eigenschaften

Zugfestigkeit (Draht): ≥ 200 MPa.

Dehnung (Draht): $\geq 5\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Prüfmethode : Der Zugversuch wurde gemäß ISO 6892-1 durchgeführt.

5.5 Verpackung und Lagerung

Verpackung : Drahtrollen (5–50 kg pro Rolle), Stangen- und Seilbündel, feuchtigkeitsbeständige Verpackung.

Lagerung : In einer trockenen und belüfteten Umgebung mit einer Temperatur <40 °C und einer Luftfeuchtigkeit <60 % lagern, um Korrosion zu vermeiden.

6. Prüfung und Abnahme

Prüfdokumente : Stellen Sie Prüfberichte der Klasse 2.1 **oder** 2.2 gemäß ISO 10204 bereit.

Annahmekriterien :

Die chemische Zusammensetzung, die Abmessungen und die Oberflächenqualität müssen den Anforderungen der Abschnitte 5.1-5.3 entsprechen.

Die physikalischen Eigenschaften erfüllen die Anforderungen des Abschnitts 5.4.

Probenahme : Aus jeder Charge werden 3–5 Proben zur Prüfung entnommen.

7. Testmethoden

Chemische Zusammensetzung : spektroskopische Analyse (ICP-OES) oder chemische Titration.

Größe : Mit einem Messschieber oder Mikrometer messen.

Oberflächenqualität : Sichtprüfung oder mikroskopische Prüfung.

Physikalische Eigenschaften : Zugversuch (ISO 6892-1).

8. Kennzeichnung

Inhalt : Jede Materialcharge muss mit folgenden Informationen gekennzeichnet sein:

Materialname (z. B. Zn99,9, WC-Co).

Spezifikationen (Durchmesser, Länge).

Chargennummer und Produktionsdatum.

Name oder Marke des Herstellers.

Vorgehensweise : Die Kennzeichnung wird gut lesbar auf der Verpackung oder dem Etikett angebracht.

9. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit : Geeignet für Flammsspritz- und Lichtbogenspritzverfahren zur Herstellung korrosionsbeständiger und verschleißfester Beschichtungen.

Grenze :

Nicht geeignet für Pulverspritzmaterialien (wie z. B. WC-Co-Pulver).

Die Leistung von Hochtemperaturbeschichtungen (> 800 °C) ist nicht spezifiziert und es muss auf andere Normen (wie ISO 14923) verwiesen werden.

10. Anhang (Referenz)

Anhang A : Empfohlene Drahtdurchmesser und Parameter des Sprühprozesses.

Beispiel: Zn-Draht (2,0 mm Durchmesser), Flammsspritzabstand 100–150 mm,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sauerstoffdurchflussrate 30–50 L/min.

Anhang B : Tabelle der chemischen Zusammensetzung typischer Materialien.

Beispiel: Zn85Al15 (Zn 84,5–85,5 %, Al 14,5–15,5 %, Verunreinigungen <0,5 %).

Anhang:

ASTM C633-13 (2017)

Standardprüfverfahren für die Haft- bzw. Kohäsionsfestigkeit thermisch gespritzter Beschichtungen

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Norm legt ein Prüfverfahren zur Bestimmung der Haft- bzw. Kohäsionsfestigkeit thermisch gespritzter Beschichtungen mittels Zugversuch fest. Sie ist auf metallische, keramische und Verbundbeschichtungen anwendbar.

Zielkunden

Einschließlich Hartmetallbeschichtungen (wie WC-Co, Cr₃C₂- NiCr) , die beim Flamspritzen, Lichtbogenspritzen, Plasmaspritzen (wie APS, VPS), HVOF, DGS und anderen Verfahren verwendet werden.

Messziel :

Haftung: Die Bindungsstärke zwischen der Beschichtung und dem Substrat, gemessen in MPa.

Kohäsionsfestigkeit: Die Bindungsstärke innerhalb der Beschichtung, gemessen in MPa.

1.2 Dieses Verfahren ist nicht anwendbar auf ultradünne Beschichtungen mit einer Dicke von weniger als 0,1 mm.

1.3 Diese Norm behandelt keine Beschichtungsvorbereitungsverfahren, sondern nur Prüfmethoden.

1.4 Die Werte sind in metrischen Einheiten (MPa) angegeben. Die imperialen Einheiten (psi) in Klammern dienen nur als Referenz.

2. Referenzen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente:

ASTM E4-16 : Standardverfahren zur Kraftkalibrierung von Zugprüfmaschinen.

ASTM E6-15 : Terminologie der mechanischen Prüfung.

ASTM E177-14 : Terminologie für Präzision und Verzerrung in technischen Daten.

ASTM E691-16 : Vergleich und Bewertung der Präzision zwischen Testmethoden.

3. Begriffe und Definitionen

Haftfestigkeit : Die zur Trennung zwischen der Beschichtung und der Substratschnittstelle erforderliche Zugspannung, gemessen in MPa.

Kohäsionsfestigkeit : Die zur Trennung der Partikel innerhalb der Beschichtung erforderliche Zugspannung, gemessen in MPa.

Thermische Spritzbeschichtung : Eine Beschichtung, die durch ein thermisches Spritzverfahren (wie APS, HVOF) auf die Substratoberfläche aufgebracht wird.

Fehlermodus :

Haftungsversagen: Bruch an der Schnittstelle zwischen Beschichtung und Substrat.

Kohäsionsbruch: Bruch innerhalb der Beschichtung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gemischtes Versagen: Eine Kombination aus Adhäsions- und Kohäsionsversagen.

4. Bedeutung und Verwendung

Dieses Prüfverfahren dient der Bewertung der Bindungsqualität thermischer Spritzbeschichtungen und eignet sich zur Qualitätskontrolle, Materialentwicklung und Leistungsüberprüfung.

Typische Anwendungen: Luft- und Raumfahrt (Beschichtungen für Turbinenschaufeln), Industrieanlagen (verschleißfeste Beschichtungen) und Energiewirtschaft (Beschichtungen für Bohrergeräte).

Beispiel: Die Bindungsstärke einer WC-Co-Beschichtung (HVOF) beträgt typischerweise 50–80 MPa, eine VPS-Beschichtung kann 60–90 MPa erreichen.

5. Prüfgeräte

Zugprüfmaschine :

Erfüllt die Anforderungen von ASTM E4, Kraftkalibrierungsgenauigkeit $\pm 1\%$.

Ladegeschwindigkeit: 0,015–0,025 mm/s (0,6–1,0 mm/min).

Spielplan :

Zylindrische Vorrichtung, 25,4 mm (1,0 Zoll) Durchmesser, mit Ausrichtungsfehler $< 0,05$ mm an beiden Enden.

Klemmenmaterial: hochfester Stahl, Härte $\geq$ HRC 40.

Klebstoff :

Hochfestes Epoxidharz (z. B. FM 1000), Festigkeit ≥ 70 MPa.

Aushärtungsbedingungen: wie vom Hersteller empfohlen (z. B. 150 °C, 2 Stunden).

6. Probenvorbereitung

Stichprobengröße :

Zylindrische Proben, 25,4 mm (1,0 Zoll) Durchmesser, Substratdicke ≥ 5 mm.

Schichtdicke: 0,1–1,0 mm (je nach Verfahren).

Untergrund :

Material: In der Regel Stahl, Edelstahl oder Aluminium, Oberfläche durch Sandstrahlen aufgeraut (Ra 3–5 μ m).

Beschichtungsvorbereitung :

Spritzen mit realen Produktionsverfahren (z. B. HVOF, APS).

Die Beschichtungsfläche muss flach sein und eine Rauheit von Ra 5–15 μ m aufweisen.

Bindung :

Kleben Sie die beschichtete Probe auf eine andere zylindrische Vorrichtung derselben Größe.

Kleberstärke: 0,05–0,2 mm, gleichmäßig und blasenfrei auftragen.

Menge : Mindestens 5 Proben pro Gruppe, repräsentativer Test.

7. Experimentelles Verfahren

Kalibrierung : Kraftkalibrierung der Prüfmaschine, Genauigkeit $\pm 1\%$.

Einbau : Spannen Sie die Probe in die Vorrichtung der Prüfmaschine ein und achten Sie dabei auf einen Ausrichtungsfehler von $< 0,05$ mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Belastung : Zugbelastung mit einer Geschwindigkeit von 0,015–0,025 mm/s anwenden, bis die Probe versagt.

Aufzeichnen :

Maximale Zugkraft in N (oder lb) .

Ausfallart (adhäsiv, kohäsiv oder gemischt).

berechnen :

Haftfestigkeit (MPa) = maximale Zugkraft (N) / Probenquerschnittsfläche (mm²) .

Querschnittsfläche: 502,7 mm² (Durchmesser 25,4 mm).

8. Testbedingungen

Umgebung : Temperatur 23 ± 2 °C, Luftfeuchtigkeit 50 ± 10 %, keine Vibrationen und korrosiven Gase.

Ausrüstung : Die Prüfmaschine sollte vor Überhitzung oder Überlastung geschützt werden.

9. Ergebnisberichterstattung

Inhalt des Berichts :

Informationen zu Beschichtungsmaterial und Substrat (z. B. WC-12Co, Stahlsubstrat).

Beschichtungsdicke (μm) und Herstellungsverfahren (HVOF, APS usw.).

Klebstofftyp und Aushärtungsbedingungen.

Mittelwerte der Haftfestigkeit (MPa), einschließlich Standardabweichung.

Ausfallart (adhäsiv, kohäsiv oder gemischt), mit Fotos.

Prüfdatum, Bediener und Gerätenummer.

Beispiel : WC-Co-Beschichtung (HVOF), Bindungsstärke 65±5 MPa, Versagensmodus ist gemischtes Versagen.

10. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision :

Intralabor-Wiederholbarkeit: Standardabweichung <5 %.

Interlabor-Reproduzierbarkeit: Standardabweichung <10 %.

Abweichung :

Mögliche Ursachen: Fehler in der Probenausrichtung, unzureichende Haftfestigkeit, Beschichtungsfehler.

Kontrollmaßnahmen: Befolgen Sie die Testverfahren strikt und überprüfen Sie die Qualität der Proben.

11. Anhang (Referenz)

Anhang X 1 : Leitfaden zur Klebstoffauswahl.

Empfohlen: FM 1000 Epoxidharz, Festigkeit ≥ 70 MPa.

Anhang X 2 : Beispiel für eine Fehlermöglichkeitsanalyse.

Beispiele: Adhäsionsversagen (Grenzflächenablösung), Kohäsionsversagen (Bruch innerhalb der Beschichtung).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

12. Schlüsselwörter

Thermische Spritzbeschichtungen, Haftung, Kohäsionsfestigkeit, Zugfestigkeitsprüfung, Bindungsfestigkeit.

Anhang:

ASTM E2109-01 (2014)

Standardprüfverfahren für die prozentuale scheinbare Porosität von thermischen
Spritzbeschichtungen

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Norm legt ein Prüfverfahren zur Bestimmung der prozentualen scheinbaren Porosität von thermisch gespritzten Beschichtungen durch mikroskopische Analyse fest. Sie ist auf metallische, keramische und Verbundbeschichtungen anwendbar.

Anwendbare Objekte : einschließlich Hartmetallbeschichtungen (wie WC-Co, Cr₃C₂- NiCr) , verwendet beim Plasmaspritzen (APS, VPS), HVOF, DGS und anderen Verfahren.

Messziel :

Scheinbare Porosität: Der prozentuale Anteil der Porenfläche im Beschichtungsquerschnitt an der Gesamtfläche, ausgedrückt in %.

1.2 Dieses Verfahren ist auf Beschichtungen mit einer Dicke von $\geq 0,05$ mm anwendbar.

1.3 Diese Norm befasst sich nicht mit den Ursachen der Porosität oder dem Beschichtungsvorbereitungsprozess, sondern nur mit der Prüfmethode.

1.4 Die Werte sind in metrischen Einheiten (%) angegeben. Die imperialen Einheiten in Klammern dienen nur als Referenz.

2. Referenzen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente:

ASTM E3-11 : Standardverfahren zur Herstellung von Mikrostrukturproben aus metallischen Werkstoffen.

ASTM E7-17 : Terminologie für die mikrostrukturelle Analyse metallischer Werkstoffe.

ASTM E1245-03 (2016) : Standardverfahren zur Bestimmung der Menge an Einschlüssen oder Zweitphasen in Materialien durch Bildanalyse.

ASTM E177-14 : Terminologie für Präzision und Verzerrung in technischen Daten.

3. Begriffe und Definitionen

Scheinbare Porosität : Der prozentuale Anteil der Porenfläche im Beschichtungsquerschnitt an der Gesamtfläche, gemessen durch mikroskopische Bildanalyse, in %.

Thermische Spritzbeschichtung : Eine Beschichtung, die durch ein thermisches Spritzverfahren (wie APS, HVOF) auf die Substratoberfläche aufgebracht wird.

Porosität : Winzige Hohlräume innerhalb einer Beschichtung oder an einer Schnittstelle, die durch nicht geschmolzene Partikel, eingeschlossene Gase oder Schrumpfung beim Abkühlen verursacht werden können.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sichtfeld : Der von einem Mikroskop beobachtete Bereich, normalerweise rechteckig oder kreisförmig.

4. Bedeutung und Verwendung

Mit diesem Prüfverfahren wird die Porosität thermischer Spritzbeschichtungen bewertet, die sich auf die Korrosionsbeständigkeit, Verschleißfestigkeit und Haftfestigkeit der Beschichtung auswirkt.

Typische Anwendungen:

Luft- und Raumfahrt (Beschichtungen für Turbinenschaufeln): Porosität < 1 % (VPS).

Industrielle Ausrüstung (verschleißfeste Beschichtung): Porosität < 2 % (HVOF).

Energieindustrie (Beschichtung von Bohrergeräten): Porosität < 5 % (APS).

Beispiel: Die Porosität einer WC-Co-Beschichtung (HVOF) beträgt typischerweise 0,5–2 %, während sie bei einer VPS-Beschichtung < 1 % betragen kann.

5. Prüfgeräte

Optisches Mikroskop :

Vergrößerung: 100-1000-fach, 200-500-fach empfohlen.

Auflösung: Kann Porengrößen $\geq 1 \mu m$ unterscheiden .

Rasterelektronenmikroskop (REM) (optional):

Wird für hochpräzise Analysen mit einer 500- bis 2000-fachen Vergrößerung verwendet.

Bildanalyse -Software :

Es entspricht den Anforderungen von ASTM E1245 und kann Porenflächen automatisch identifizieren und berechnen.

Schneidausrüstung :

Präzisionsschneidemaschine für einen glatten Querschnitt.

Schleif- und Poliergeräte :

Schleifpapier (Körnung 240–1200) und Poliertuch mit Aluminiumoxid- oder Diamantsuspension.

6. Probenvorbereitung

Stichprobengröße :

Querschnittsabmessungen: mindestens 10 mm × 10 mm, Schichtdicke $\geq 0,05$ mm.

Schneiden :

Verwenden Sie einen Präzisionsschneider mit niedriger Geschwindigkeit und Kühlmittel (z. B. Wasser), um eine Überhitzung zu vermeiden.

Mosaik :

Um einen stabilen Querschnitt zu gewährleisten, wurden die Proben in Epoxidharz eingebettet.

Schleifen und Polieren :

Schleifen: Verwenden Sie Schleifpapier Nr. 240, 400, 800, 1200, um Kratzer schrittweise zu reduzieren.

Polieren: Verwenden Sie eine 1 μm Diamantsuspension und eine Poliertuchgeschwindigkeit von 150–200 U/min.

Oberflächenanforderungen: keine Kratzer, Poren sind deutlich sichtbar.

sauber :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mit Ethanol waschen, 5 Minuten lang mit Ultraschall reinigen und trocknen.

Menge : Mindestens 3 Proben pro Gruppe, repräsentativer Test.

7. Experimentelles Verfahren

Kalibrierung : Kalibrierung der Mikroskopvergrößerung, Genauigkeit $\pm 2\%$.

Auswahl des Sichtfelds :

5–10 Sichtfelder wurden zufällig ausgewählt, um verschiedene Bereiche des Beschichtungsquerschnitts abzudecken.

Fläche jedes Sichtfeldes: mindestens $0,01 \text{ mm}^2$ (200 -fache Vergrößerung).

Bildaufnahme :

Nehmen Sie Bilder mit einem optischen Mikroskop oder SEM auf, um einen hohen Porenkontrast sicherzustellen.

Die Poren erscheinen dunkel und die Beschichtungsmatrix erscheint hell.

Bildanalyse :

Die Porosität wurde mithilfe einer Bildanalysesoftware (konform mit ASTM E1245) ermittelt.

Schwellenwert festlegen: Rauschen basierend auf dem Grauwert der Poren ausschließen.

berechnen :

Scheinbare Porosität (%) = $(\text{Gesamtporenfläche} / \text{Gesamtsichtfeld}) \times 100$.

Der Mittelwert und die Standardabweichung wurden für 5–10 Felder berechnet.

8. Testbedingungen

Umgebung : Temperatur $23 \pm 2^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit $50 \pm 10\%$, keine Vibrationen und kein Staub.

Beleuchtung : Verwenden Sie Hellfeld- oder Dunkelfeldbeleuchtung am Mikroskop, um sicherzustellen, dass die Poren klar sind.

Ausrüstung : Mikroskoplinse reinigen, um Artefakte zu vermeiden.

9. Berichterstattung über Ergebnisse

Inhalt des Berichts :

Informationen zu Beschichtungsmaterial und Substrat (z. B. WC-12Co, Stahlsubstrat).

Beschichtungsdicke und Herstellungsverfahren (HVOF, APS usw.).

Mikroskopvergrößerung und Anzahl der Sichtfelder.

Durchschnittliche scheinbare Porosität (%) einschließlich Standardabweichung.

Beschreibung der Porenverteilung (Homogenität, Größenbereich) mit Bild.

Prüfdatum, Bediener und Gerätenummer.

Beispiel : WC-Co-Beschichtung (HVOF), Porosität $1,2 \pm 0,3\%$, gleichmäßige Porenverteilung, maximale Porengröße $< 5 \mu\text{m}$.

10. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision :

Intralabor-Wiederholbarkeit: Standardabweichung $< 0,5\%$.

Interlabor-Reproduzierbarkeit: Standardabweichung $< 1,0\%$.

Abweichung :

Mögliche Ursachen: unzureichende Probenpolitur, falsche Einstellung des Bildschwellenwerts und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

verzerrte Auswahl des Sichtfelds.

Kontrollmaßnahmen: Befolgen Sie die Verfahren zur Probenvorbereitung und -analyse strikt und erhöhen Sie die Anzahl der Sichtfelder.

11. Anhang (Referenz)

Anhang X 1 : Leitfaden zur Auswahl der Mikroskopvergrößerung.

Empfehlung: Schichtdicke 0,1–0,5 mm, 200–500 Anwendungen.

Anhang X 2 : Empfehlungen zur Einrichtung der Bildanalysesoftware.

Beispiel: Einstellbereich des Graustufenschwellenwerts (0–255), Schwellenwert für die Porenidentifizierung <50.

12. Schlüsselwörter

Thermische Spritzbeschichtungen, Oberflächenporosität, mikroskopische Analyse, Bildanalyse, Porenverteilung.

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

Anhang:

EN 657:2005

Thermisches Spritzen – Terminologie und Klassifizierung

1. Geltungsbereich

1.1 Diese europäische Norm definiert die Begriffe und Klassifizierungen im Zusammenhang mit der thermischen Spritztechnologie und ist auf verschiedene thermische Spritzverfahren anwendbar (z. B. Flamspritzen, Lichtbogenspritzen, Plasmaspritzen usw.).

Anwendbare Objekte : einschließlich, aber nicht beschränkt auf Metallbeschichtungen (wie Zink, Aluminium), Keramikbeschichtungen (wie Aluminiumoxid, Zirkoniumoxid) und Verbundbeschichtungen (wie WC-Co-Hartmetall).

Zweck : Bereitstellung einer einheitlichen Terminologie zur Erleichterung der technischen Kommunikation, der Standardisierung und der Produktbeschreibung.

1.2 Diese Norm befasst sich nicht mit spezifischen Prozessparametern oder Leistungsanforderungen und beschränkt sich auf Terminologie und Klassifizierung.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente und deren Abschnitte werden durch Verweis in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm.

EN 13507:2018 – Thermisches Spritzen – Oberflächenvorbereitung von Metallteilen.

EN 13204:2017 – Thermisches Spritzen – Pulver – Zusammensetzungen, Technische Lieferbedingungen.

ISO 14918:1998 – Thermisches Spritzen – Dokumentation der Inspektions- und Abnahmeprüfungen.

Hinweis : Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils neuste Version.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe aus dem Bereich des thermischen Spritzens definiert, geordnet nach Prozessklassifizierung und technischen Merkmalen:

3.1 Thermisches Spritzverfahren

Thermisches Spritzen :

Bei einem Beschichtungsprozess wird das Material erhitzt, bis es geschmolzen oder halbgeschmolzen ist, und dann mit hoher Geschwindigkeit auf die Oberfläche des Substrats gesprüht.

Flamspritzen :

Ein Prozess, bei dem Brenngas (wie etwa Acetylen oder Propan) mit Sauerstoff verbrannt wird, um einen Flammenstrom zum Schmelzen und Versprühen des Materials zu erzeugen.

Lichtbogenspritzen :

Ein Verfahren, bei dem zwischen zwei leitfähigen Drähten ein Lichtbogen erzeugt wird, um das

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Material zu erhitzen, und Druckluft zum Ausstoßen geschmolzener Partikel verwendet wird.

Plasmaspritzen :

Ein Verfahren, bei dem ein Plasmalichtbogen (Temperatur 10.000–15.000 °C) zum Schmelzen und Verspritzen des Materials verwendet wird, darunter atmosphärisches Plasmaspritzen (APS) und Vakuumplasmaspritzen (VPS).

Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzen (HVOF) :

Ein Verfahren, bei dem durch die Verbrennung von Brennstoff (z. B. Kerosin) mit Sauerstoff eine Überschallflamme (500–1000 m/s) erzeugt wird.

Hochexplosives Sprühen (DGS, Detonation Gun Spraying) :

Ein Verfahren, bei dem durch eine kontrollierte Explosion (Sauerstoff gemischt mit Acetylen) eine Hochdruckstoßwelle zum Sprühen erzeugt wird.

3.2 Werkstoffe und Beschichtungen

Sprühmaterial :

Pulver, Drähte, Stäbe oder Seile zum thermischen Spritzen von Materialien wie Metallen, Legierungen, Keramiken oder Verbundwerkstoffen.

Beschichtung :

Die beim thermischen Spritzen auf der Substratoberfläche gebildete Schichtstruktur.

Haftschicht :

die Beschichtung und das Substrat, das die Haftung verbessert, normalerweise ein Metall (wie Ni-Cr, Ni-Al).

Cermet -Beschichtung :

Eine Verbundbeschichtung aus Carbiden (wie WC, Cr_3C_2) und metallischen Bindungsphasen (wie Co, Ni).

Spritzer :

Die flache Struktur, die durch die schnelle Abkühlung geschmolzener oder halbgeschmolzener Partikel nach dem Auftreffen auf dem Substrat entsteht, ist die Grundeinheit der Beschichtung.

3.3 Prozessparameter und Leistung

Sprühdistanz :

Der Abstand von der Düse der Spritzpistole zur Oberfläche des Substrats wird in mm angegeben, üblicherweise 100–200 mm.

Vorschubgeschwindigkeit :

Die pro Zeiteinheit zugeführte Pulvermenge in g/min.

Bindungsstärke :

Die Haftung zwischen der Beschichtung und dem Substrat oder innerhalb der Beschichtung, gemessen in MPa.

Porosität :

Der Anteil des Porenvolumens der Beschichtung am Gesamtvolumen, ausgedrückt in %, beeinflusst die Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit.

Oberflächenrauheit

Die mikroskopische Rauheit der Beschichtungs Oberfläche wird üblicherweise als Ra

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(arithmetischer Mittenrauwert) in μm angegeben .

3.4 Mängel und Ausfälle

Riss :

Risse innerhalb einer Beschichtung oder an einer Grenzfläche können durch thermische oder mechanische Belastung verursacht werden.

Delamination :

Das Phänomen, dass sich eine Beschichtung vom Substrat oder den inneren Schichten ablöst.

Oxideinschluss :

Durch eine Oxidationsreaktion bilden sich Oxidpartikel in der Beschichtung.

4. Klassifizierung

4.1 Klassifizierung nach Verfahren

Gasthermisches Spritzen :

Einschließlich Flammsspritzen, Lichtbogenspritzen und HVOF.

Plasma- Thermospritzen :

Einschließlich APS und VPS.

Explosives thermisches Spritzen :

Einschließlich DGS.

4.2 Klassifizierung nach Material

Metallische Beschichtungen :

Wie etwa Legierungen auf Zink-, Aluminium- und Nickelbasis .

Keramikbeschichtungen :

Wie beispielsweise Al_2O_3 , ZrO_2 .

Verbundbeschichtungen :

Wie etwa WC - Co, Cr_3C_2 - NiCr .

4.3 Klassifizierung nach Anwendung

Schutzbeschichtungen :

Wird für Korrosionsbeständigkeit, Verschleißfestigkeit oder Hochtemperaturbeständigkeit verwendet, beispielsweise als Beschichtung für industrielle Rohrleitungen.

Funktionale Beschichtungen :

Wird für bestimmte Funktionen wie leitfähige oder isolierende Beschichtungen verwendet.

Reparaturbeschichtungen :

Wird zur Reparatur abgenutzter oder korrodierter Teile verwendet, beispielsweise zur Reparatur von Formen.

5. Anhang (Referenz)

Anhang A : Schematische Darstellung des thermischen Spritzprozesses.

Beispiel: Schematische Darstellung des Flammsspritzens mit Darstellung der Flammenströmung, der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Düsen- und Substratposition.

Anhang B : Terminologievergleichstabelle für gängige Beschichtungsmaterialien.

Beispiele: WC-Co (Hartlegierung), NiCr (Nickel-Chrom-Legierung).

6. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit : Technische Dokumentation, Entwicklung von Standards und Schulung für die thermische Spritzindustrie.

Grenze :

Es enthält keine spezifischen Prozessparameter oder Leistungstestmethoden und es ist ein Verweis auf andere Normen (wie EN 13507, ISO 14923) erforderlich.

Nicht geeignet für nichtthermische Spritzverfahren wie beispielsweise Kaltgasspritzen.

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

Anhang:

EN 13507:2018

Thermisches Spritzen – Oberflächenvorbereitung von Metallteilen und -komponenten

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Europäische Norm legt Anforderungen, Verfahren und Annahmekriterien für die Oberflächenvorbereitung metallischer Teile und Baugruppen vor dem thermischen Spritzen fest.

Anwendbare Objekte : einschließlich, aber nicht beschränkt auf Teile aus Stahl, Edelstahl, Aluminiumlegierungen und Titanlegierungen, geeignet für nachfolgende thermische Spritzbeschichtungen (wie WC-Co, Cr₃C₂-NiCr) .

Zweck : Sicherstellung der Oberflächenreinheit und -rauheit und Verbesserung der Haftung der Beschichtung auf dem Substrat.

1.2 Diese Norm gilt für die Verfahren Flammsspritzen, Lichtbogenspritzen, Plasmaspritzen (APS, VPS), HVOF und DGS. 1.3 Diese Norm gilt nicht für die Vorbehandlung nichtmetallischer Substrate oder Verfahren zur Beschichtungsvorbereitung.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente und deren Abschnitte werden durch Verweis in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm.

EN 657:2005 – Thermisches Spritzen – Terminologie und Klassifizierung.

EN 1011-1:2009 – Schweißen – Schmelzschweißen von Stählen – Teil 1: Allgemeine Hinweise zu Werkstoffen und Verfahren.

EN ISO 8501-1:2007 – Oberflächenvorbereitung von Stahl – Visuelle Beurteilung des Rostgrads und der Vorbereitungsgrade – Teil 1: Rostgrad und Vorbereitungsgrade.

EN ISO 2063:2005 – Thermisches Spritzen – Metallische und anorganische Überzüge – Zink, Aluminium und ihre Legierungen.

Hinweis : Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils neuste Version.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet, wobei auf EN 657:2005 Bezug genommen wird:

Oberflächenvorbereitung : Der Prozess des Entfernens von Oberflächenverunreinigungen und Verbessern der Beschichtungshaftung durch Reinigen, Aufräumen oder Behandeln.

Rauheit : Die mikroskopische Unebenheit der Oberfläche, üblicherweise ausgedrückt als Ra (arithmetischer Mittenrauwert), mit der Einheit μm .

Strahlen : Ein Verfahren, bei dem mit Hochdruckluft oder durch Aufsprühen harter Partikel (wie Sand und Stahlschrot) die Oberfläche aufgeraut wird.

Sauberkeit : Der Grad, in dem eine Oberfläche frei von Öl, Rost und Oxiden ist, normalerweise bewertet nach EN ISO 8501-1.

4. Voraussetzungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1 Oberflächenreinheit

Ziel : Entfernen von Fett, Rost, Walzzunder, Schweißschlacke und Verunreinigungen.

Bewertung :

Stahl: EN ISO 8501-1 Sa 2 ½ (nahe weiß) , frei von sichtbarem Öl und Rost.

Aluminiumlegierungen : EN ISO 8501-1 Sa 2 (durchgehend rostfrei), frei von losen Partikeln.

Prüfmethode : Sichtprüfung oder Lupe (5- bis 10-fache Vergrößerung) .

4.2 Oberflächenrauheit

Umfang :

Empfohlener Ra 3–5 µm (natürliche Rauheit nach dem Sandstrahlen).

µm (nach Vereinbarung) je nach Beschichtungstyp .

Messmethode : Verwenden Sie einen Tastschnitt - Oberflächenprofilmesser (siehe EN ISO 4287) mit einer Abtastlänge von 2,5 mm.

Toleranz : Ra - Abweichung ±1 µm .

4.3 Eigenspannungskontrolle

Anforderungen : Nach der Vorbehandlung sollten die Oberflächeneigenspannungen minimiert werden, um Risse zu vermeiden.

Methode : Kontrollieren Sie den Sandstrahl Druck (0,2–0,7 MPa) und den Winkel (45–90°).

4.4 Substratintegrität

Anforderungen : Durch die Vorbehandlung dürfen keine nennenswerten Verformungen oder Beschädigungen des Untergrundes (wie z. B. Risse, Abblättern) entstehen.

Inspektion : Sichtprüfung oder zerstörungsfreie Prüfung (z. B. Magnetpulverprüfung).

5. Vorverarbeitungsmethoden

5.1 Reinigung

Entfetten :

Methode: Reinigung mit organischen Lösungsmitteln (wie Trichlorethylen, Ethanol) oder Ultraschallreinigung.

Zeit: 5–10 Minuten, stellen Sie sicher, dass kein Ölfleck zurückbleibt.

Rostentfernung :

Methode: Beizen (z. B. 10%ige Salzsäurelösung) oder mechanische Reinigung (z. B. Drahtbürste).

Hinweis: Nach dem Beizen neutralisieren und abspülen.

5.2 Sandstrahlen

Ausrüstung :

Sandstrahlgerät, Druck 0,2–0,7 MPa, Düsendurchmesser 6–10 mm.

Schleifmittel :

Stahlschrot: Durchmesser 0,3–1,0 mm, Härte ≥HRC 40.

Sand: Quarzsand oder Korund, Körnung 0,2–0,8 mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Reinheit: Verunreinigungen <1 %.

Parameter :

Sprühabstand: 100-150 mm.

Sprühwinkel: 45–90° (je nach Form des Untergrundes angepasst).

Strahldauer: bis die gewünschte Rauheit und Sauberkeit erreicht ist.

Sicherheit : Bediener sollten Schutzausrüstung tragen, um das Einatmen von Staub zu vermeiden.

5.3 Andere Methoden

Mechanisches Aufrauen :

Verwenden Sie eine für den örtlichen Bereich geeignete Schleifscheibe oder Schleifmaschine mit einer Rauheit Ra von 3–5 µm .

Wärmebehandlung :

Heizen Sie das Substrat auf 50–150 °C vor, um die Haftung zu verbessern und Kondensation zu vermeiden.

6. Prüfung und Abnahme

Prüfmethode :

Sauberkeit : Optische Bewertung nach EN ISO 8501-1.

Rauheit : gemessen mit einem Stiftprofilometer, der Durchschnittswert wurde aus 5 Punkten ermittelt.

Oberflächenintegrität : visuelle oder zerstörungsfreie Prüfung.

Annahmekriterien :

Reinheitsgrad Sa 2 ½ (Stahl) bzw. Sa 2 (Aluminium).

Die Rauheit liegt im angegebenen Bereich (Ra 3-5 µ m) .

Keine offensichtlichen Schäden oder Verunreinigungen.

Aufzeichnungen : Parameter des Vorbehandlungsprozesses, Inspektionsergebnisse und Daten.

7. Testbedingungen

Umgebung : Temperatur 15–30 °C, Luftfeuchtigkeit < 70 %, kein Staub und keine ätzenden Gase.

Ausrüstung : Sandstrahlgeräte und Messwerkzeuge müssen regelmäßig kalibriert werden (Genauigkeit ±5 %).

8. Berichterstattung über Ergebnisse

Inhalt des Berichts :

Trägermaterial und Teileinformationen (Stahl, Edelstahl usw.).

Vorbehandlungsmethoden (Sandstrahlen, Entfetten usw.).

Prozessparameter (Druck, Abstand, Strahlmittelart).

Sauberkeitsbewertung und Rauheitsmessung (Ra).

Ergebnisse der Oberflächenintegritätsprüfung.

Prüfdatum, Bediener und Gerätenummer.

Beispiel : Stahlsubstrat, Sandstrahlen (Stahlkies 0,5 mm, 0,5 MPa, 150 mm), Ra 4,2 µ m , Sauberkeit Sa 2 ½.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit : Geeignet für Metallteile und -komponenten vor dem thermischen Spritzen, um die Beschichtungshaftung zu verbessern.

Grenze :

Nicht geeignet für nichtmetallische Substrate (z. B. Keramik, Polymere).

Die Leistung nachfolgender Beschichtungen ist nicht festgelegt und es wird auf EN 657 oder ISO 14923 verwiesen.

10. Anhang (Referenz)

Anhang A : Tabelle mit empfohlenen Sandstrahlparametern.

Beispiel: Stahlsubstrat, Druck 0,5 MPa, Abstand 120 mm, Stahlschrot 0,5 mm, Ra 4-6 μm .

Anhang B : Beispielfotos zur Sauberkeitsbewertung (Sa 2 ½ Standard).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang : .

GB/T 18719-2002 Thermisches Spritzpulver

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Norm legt die Klassifizierung, technischen Anforderungen, Prüfverfahren und Inspektionsregeln für Pulver fest, die in thermischen Spritzverfahren verwendet werden.

Anwendbare Objekte : einschließlich Metallpulver (wie Zink, Aluminium), Keramikpulver (wie Aluminiumoxid, Zirkoniumoxid) und Verbundpulver (wie WC-Co-Hartmetall).

Zweck : Sicherstellen, dass die chemische Zusammensetzung, Partikelgrößenverteilung und Morphologie des Pulvers den Anforderungen des thermischen Spritzprozesses entsprechen.

1.2 Diese Norm gilt für Verfahren wie Flamspritzen, Lichtbogenspritzen, Plasmaspritzen (APS, VPS), HVOF und DGS.

1.3 Diese Norm befasst sich nicht mit dem Pulverherstellungsprozess oder den Beschichtungseigenschaften, sondern konzentriert sich nur auf das Pulver selbst.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente und deren Abschnitte werden durch Verweis in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm.

GB/T 5314-2002 – Rockwell-Härteprüfverfahren für metallische Werkstoffe.

GB/T 13320-1991 – Terminologie der Pulvermetallurgie.

GB/T 1479.1-1993 – Verfahren zur Bestimmung der Partikelgröße von Metallpulver – Siebverfahren.

GB/T 1482-2010 – Probenahmemethoden und chemische Analysemethoden für Metallpulver.

Hinweis : Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils neuste Version.

3. Begriffe und Definitionen

Diese Norm übernimmt die folgenden Begriffe und Definitionen unter Bezugnahme auf GB/T 13320-1991:

Thermisches Spritzpulver : Granulatmaterial, das im thermischen Spritzverfahren verwendet wird und aus Metall, Legierung, Keramik oder Verbundwerkstoff bestehen kann.

Partikelgröße : Die maximale lineare **Größe** von Pulverpartikeln in μm .

Partikelgrößenverteilung : Die prozentuale **Verteilung** der Pulverpartikel entsprechend dem Größenbereich.

Fließfähigkeit : Die Fließeigenschaften des Pulvers während des Pulverzufuhrprozesses , die Einheit ist s/50 g.

Scheinbare Dichte : Die Masse eines Pulvers pro Volumeneinheit, ausgedrückt in g/cm^3 .

4. Klassifizierung

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

4.1 Klassifizierung nach Materialart

Metallpulver :

Wie Zink (Zn), Aluminium (Al), Nickel (Ni) und Kupfer (Cu).

Keramikpulver :

Aluminiumoxid (Al_2O_3) und Zirkoniumoxid (ZrO_2).

Verbundpulver :

Wie WC-Co (Wolfram-Kobalt-Hartmetall), Cr_3C_2 - NiCr (Chromkarbid-Nickel-Chrom).

4.2 Klassifizierung nach Morphologie

Sphärisches Pulver : Die Partikel sind annähernd kugelförmig und weisen eine gute Fließfähigkeit auf.

Unregelmäßiges Pulver : Unregelmäßige Partikelform, geeignet für bestimmte Prozesse.

Hohlpulver : Partikel mit **Hohlräumen** im Inneren zur Verringerung der Dichte.

5. Technische Voraussetzungen

5.1 Chemische Zusammensetzung

Erfordern :

Die Gehaltsabweichung der Hauptelemente beträgt $\pm 0,5\%$ (z. B. WC, Co).

Gesamtverunreinigungsgehalt $< 1\%$ (Sauerstoff $< 0,5\%$, Schwefel $< 0,1\%$).

Testmethode : Chemische Analyseverfahren **oder** Spektralanalyseverfahren gemäß GB/T 1482.

5.2 Partikelgrößenverteilung

Umfang :

Üblicher Bereich: $10\text{--}75\ \mu\text{m}$.

Spezifischer Prozess:

APS/VPS: $10\text{--}50\ \mu\text{m}$.

HVOF: $10\text{--}45\ \mu\text{m}$.

DGS: $10\text{--}50\ \mu\text{m}$.

Toleranz :

90 % der Partikel liegen im angegebenen Bereich.

$< 5\%$ der Partikel überschreiten die obere Partikelgrößengrenze.

Testmethode : GB/T 1479.1 - Screening-Methode oder Laser-Partikelgrößenanalyse-Methode.

5.3 Liquidität

Erfordern :

Sphärisches Pulver: $\leq 20\ \text{s}/50\ \text{g}$.

Unregelmäßiges Pulver: $\leq 30\ \text{s}/50\ \text{g}$.

Testmethode : Verwenden Sie einen Hall - Durchflussmesser und messen Sie gemäß dem Anhang von GB/T 1479.1.

5.4 Rohdichte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Erfordern :

Sphärisches Pulver: 2,0–5,0 g/cm³ (je nach Material).

Unregelmäßiges Pulver: 1,5–4,0 g/cm³ .

Prüfmethode : Methode zur Bestimmung der scheinbaren Dichte , spezifiziert in GB/T 1479.1.

5.5 Mikrostruktur

Erfordern :

Es kommt zu keiner nennenswerten Oxidation oder Verunreinigung der Partikeloberfläche.

Die Wandstärke des Hohlpulvers ist gleichmäßig und es kommt zu keinen Rissen.

Untersuchungsmethode : optische Mikroskopie (100- bis 500 -fache Vergrößerung) oder Rasterelektronenmikroskopie (REM).

6. Testmethoden

6.1 Probenahme

Methode : Geschichtete Probenahme oder mechanische Probenahme gemäß GB/T 1482.

Menge : Das Probenvolumen jeder Charge beträgt ≥ 200 g, repräsentative Proben.

6.2 Analyse der chemischen Zusammensetzung

Methode : Spektroskopische Analyse oder chemische Titrationsmethode gemäß GB/T 1482.

Genauigkeit : Hauptelementfehler $\pm 0,2$ %, Verunreinigungsfehler $\pm 0,05$ %.

6.3 Partikelgrößenbestimmung

Methode : GB/T 1479.1 Siebmethode (Standardsiebe: 45, 63, 75 μm) oder Laser - Partikelgrößenanalysator.

Wiederholbarkeit : 3 Messungen, Abweichung < 5 %.

6.4 Fließfähigkeitsbestimmung

Methode : GB/T 1479.1 Hall-Ausflussbechermethode , messen Sie die Zeit, die 50 g Pulver zum Durchlaufen benötigen.

Wiederholbarkeit : 3 Messungen, Durchschnittswert.

6.5 Bestimmung der Schüttdichte

Methode : GB/T 1479.1 Standard-Messbechermethode, Messung der Masse von 100 cm³ Pulver.

Wiederholpräzision: Abweichung $< 0,1$ g/ cm³ nach 3 Messungen.

6.6 Mikrostrukturuntersuchung

Methode : Optisches Mikroskop oder SEM, 100- bis 500-fache Vergrößerung.

Bericht : Partikelmorphologie, Oberflächenzustand und Wandstärke der Hohlkugeln.

7. Inspektionsregeln

Chargendefinition : Dieselbe Produktionscharge, Gewicht ≤ 500 kg .

Probenahme : Aus jeder Charge werden 1–3 Proben entnommen, angepasst an die Chargengröße.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Annahmekriterien :

Die chemische Zusammensetzung, die Partikelgrößenverteilung, die Fließfähigkeit und die scheinbare Dichte müssen den Anforderungen der Abschnitte 5.1 bis 5.4 entsprechen.

Es sind keine offensichtlichen Defekte in der Mikrostruktur vorhanden.

Nicht qualifizierte Behandlung : Nicht qualifizierte Proben müssen erneut getestet oder verschrottet werden.

8. Kennzeichnung, Verpackung und Transport markieren :

Auf der Verpackung sind der Materialname (z. B. WC-12Co), die Chargennummer und das Produktionsdatum vermerkt.

Paket :

Verwenden Sie versiegelte Plastiktüten oder Metall Dosen, um Feuchtigkeit und Oxidation zu vermeiden.

Gewicht pro Paket: 5-25 kg.

Transport : Vermeiden Sie hohe Temperaturen (<40 °C) und Feuchtigkeit, um eine Verunreinigung des Pulvers zu verhindern.

9. Berichterstattung über Ergebnisse

Inhalt des Berichts :

Informationen zu Pulvermaterial und Klassifizierung.

Ergebnisse der Analyse der chemischen Zusammensetzung.

Messungen der Partikelgrößenverteilung, Fließfähigkeit und scheinbaren Dichte.

Ergebnisse der mikrostrukturellen Untersuchung (Fotos im Anhang).

Prüfmethode und Gerätenummer.

Produktionschargennummer, Datum und Unterschrift des Prüfers.

Beispiel : WC-12Co-Pulver, Partikelgröße 10-45 μm , Fließfähigkeit 18 s/50g, Schüttdichte 4,2 g/cm³ , keine Oberflächenoxidation.

10. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit : Geeignet für die Herstellung, Prüfung und Verwendung von thermischen Spritzpulvern.

Grenze :

Nicht für die Verwendung mit Draht, Stangen oder Seilen geeignet.

Es gibt keine Vorschriften zur Beschichtungsleistung, siehe GB/T 8642 oder ISO 14923.

11. Anhang (Referenz)

Anhang A : Empfohlene Tabelle zur Partikelgrößenverteilung.

- Pulver, 10–50 μm , >90 % Compliance.

Anhang B : Schematische Darstellung des Fluiditätsprüfgeräts.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

GB/T 17391-2008

Prüfverfahren für die Haftung thermischer Spritzbeschichtungen

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Norm legt Prüfverfahren zur Bestimmung der Haftung von thermischen Spritzbeschichtungen fest und ist auf Metall-, Keramik- und Verbundbeschichtungen anwendbar.

Anwendbare Objekte : einschließlich Hartmetallbeschichtungen (wie WC-Co, Cr₃C₂-NiCr) , verwendet beim Flammsspritzen, Lichtbogenspritzen, Plasmaspritzen (APS, VPS), HVOF und DGS-Verfahren.

Messziel :

Haftung: Die Bindungsstärke zwischen der Beschichtung und dem Substrat, gemessen in MPa.

Kohäsionsfestigkeit: Die Bindungsstärke innerhalb der Beschichtung, gemessen in MPa.

1.2 Dieses Verfahren ist auf Beschichtungen mit einer Dicke von $\geq 0,1$ mm anwendbar.

1.3 Diese Norm befasst sich nicht mit Beschichtungsvorbereitungsprozessen, sondern stellt lediglich Haftfestigkeitsprüfverfahren bereit.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente und deren Abschnitte werden durch Verweis in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm.

GB/T 531-1999 – Prüfverfahren für die Vickershärte metallischer Werkstoffe.

GB/T 13320-1991 – Terminologie der Pulvermetallurgie.

GB/T 14623-2003 – Zugprüfverfahren für metallische Werkstoffe.

GB/T 8642-2002 – Bestimmung der Dicke thermisch gespritzter Zink-, Aluminium- und deren Legierungsbeschichtungen.

Hinweis : Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils neuste Version.

3. Begriffe und Definitionen

Diese Norm übernimmt die folgenden Begriffe und Definitionen unter Bezugnahme auf GB/T 13320-1991:

Haftfestigkeit : Die zur Trennung zwischen der Beschichtung und der Substratschnittstelle erforderliche Zugspannung, gemessen in MPa.

Kohäsionsfestigkeit : Die zur Trennung der Partikel innerhalb der Beschichtung erforderliche Zugspannung, gemessen in MPa.

Thermische Spritzbeschichtung : Eine Beschichtung, die durch ein thermisches Spritzverfahren auf die Oberfläche des Substrats aufgebracht wird.

Fehlermodus :

Haftungsversagen: Bruch an der Schnittstelle zwischen Beschichtung und Substrat.

Kohäsionsbruch: Bruch innerhalb der Beschichtung.

Gemischtes Versagen: Eine Kombination aus Adhäsions- und Kohäsionsversagen.

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

4. Bedeutung und Verwendung

Dieses Prüfverfahren dient der Bewertung der Bindungsqualität thermischer Spritzbeschichtungen und eignet sich zur Qualitätskontrolle, Materialentwicklung und Leistungsüberprüfung.

Typische Anwendungen:

Luft- und Raumfahrt (Beschichtung von Turbinenschaufeln): Haftung der WC-Co-Beschichtung 50–80 MPa.

Industrielle Ausrüstung (verschleißfeste Beschichtung): HVOF-Beschichtungshaftung 60–90 MPa.

Energieindustrie (Beschichtung von Bohrgeräten): Cr₃C₂-NiCr-Beschichtungshaftung 40–70 MPa.

5. Prüfgeräte

Zugprüfmaschine :

Erfüllt die Anforderungen von GB/T 14623, Kraftkalibrierungsgenauigkeit $\pm 1\%$.

Ladegeschwindigkeit: 0,5–2 mm/min.

Spielplan :

Zylindrische Vorrichtung, 25 mm Durchmesser, Ausrichtungsfehler $< 0,05$ mm an beiden Enden.

Material: hochfester Stahl, Härte $\geq$ HRC 40.

Klebstoff :

Hochfestes Epoxidharz (z. B. FM 1000), Zugfestigkeit ≥ 70 MPa.

Aushärtungsbedingungen: wie vom Hersteller empfohlen (z. B. 120 °C, 1–2 Stunden).

6. Probenvorbereitung

Stichprobengröße :

Zylindrischer Probekörper, Durchmesser 25 mm, Substratdicke ≥ 5 mm.

Schichtdicke: 0,1–1,0 mm (je nach Verfahren).

Untergrund :

Material: In der Regel Stahl, Edelstahl oder Aluminium, Oberfläche durch Sandstrahlen aufgeraut (Ra 3–5 μ m).

Beschichtungsvorbereitung :

Spritzen mit realen Produktionsverfahren (z. B. HVOF, APS).

Die Beschichtungsfläche muss flach sein und eine Rauheit von Ra 5–15 μ m aufweisen.

Bindung :

Kleben Sie die beschichtete Probe auf eine andere zylindrische Vorrichtung derselben Größe.

Klebstärke: 0,05–0,2 mm, gleichmäßig und blasenfrei auftragen.

Menge : Mindestens 5 Proben pro Gruppe, repräsentativer Test.

7. Experimentelles Verfahren

Kalibrierung : Kraftkalibrierung der Prüfmaschine, Genauigkeit $\pm 1\%$.

Einbau : Spannen Sie die Probe in die Vorrichtung der Prüfmaschine ein und achten Sie dabei auf einen Ausrichtungsfehler von $< 0,05$ mm.

Belastung : Wenden Sie eine Zugbelastung mit einer Geschwindigkeit von 0,5–2 mm/min an, bis die Probe versagt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Aufzeichnen :

Maximale Zugkraft, Einheit: N.

Ausfallart (adhäsiv, kohäsiv oder gemischt).

berechnen :

Adhäsions- bzw. Kohäsionsfestigkeit (MPa) = maximale Zugkraft (N) / Probenquerschnittsfläche (mm²) .

Querschnittsfläche: 490,9 mm² (Durchmesser 25 mm).

8. Testbedingungen

Umgebung : Temperatur 20 ± 5 °C, Luftfeuchtigkeit < 60 %, keine Vibrationen und korrosiven Gase.

Ausrüstung : Die Prüfmaschine sollte vor Überhitzung oder Überlastung geschützt werden.

9. Ergebnisberichterstattung

Inhalt des Berichts :

Informationen zu Beschichtungsmaterial und Substrat (z. B. WC-12Co, Stahlsubstrat).

Beschichtungsdicke (μm) und Herstellungsverfahren (HVOF, APS usw.).

Klebstofftyp und Aushärtungsbedingungen.

Mittelwerte der Adhäsions- bzw. Kohäsionsfestigkeit (MPa) einschließlich Standardabweichung.

Ausfallart (adhäsiv, kohäsiv oder gemischt), mit Fotos.

Prüfdatum, Bediener und Gerätenummer.

Beispiel : WC-Co-Beschichtung (HVOF), Haftung 65 ± 5 MPa, Versagensmodus ist gemischtes Versagen.

10. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision :

Intralabor-Wiederholbarkeit: Standardabweichung <5 %.

Interlabor-Reproduzierbarkeit: Standardabweichung <10 %.

Abweichung :

Mögliche Ursachen: Fehler in der Probenausrichtung, unzureichende Haftfestigkeit, Beschichtungsfehler.

Kontrollmaßnahmen: Befolgen Sie die Testverfahren strikt und überprüfen Sie die Qualität der Proben.

11. Anhang (Referenz)

Anhang A : Leitfaden zur Klebstoffauswahl.

Empfohlen: FM 1000 Epoxidharz, Festigkeit ≥ 70 MPa.

Anhang B : Beispiele für Fehlermöglichkeitsanalysen.

Beispiele: Adhäsionsversagen (Grenzflächenablösung), Kohäsionsversagen (Bruch innerhalb der Beschichtung).

12. Anwendbarkeit und Beschränkungen

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

Anwendbarkeit : Geeignet für die Prüfung der Haftung und Kohäsionsfestigkeit von thermischen Spritzbeschichtungen.

Grenze :

Nicht geeignet für ultradünne Beschichtungen mit einer Dicke von $< 0,1$ mm.

Es gibt keine Vorschriften zur Porosität oder Verschleißfestigkeit der Beschichtung. Bitte beachten Sie GB/T 8642 oder ASTM G65.

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

Anhang:

AMS 2437: HVOF-Prozessspezifikation

AMS 2437 ist keine HVOF-Prozessspezifikation (High Velocity Oxygen Fuel Spray), sondern eine Spezifikation für das Plasmaspritzverfahren. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Beschreibung von AMS 2437 sowie einen Vergleich und Erläuterungen zur HVOF-Prozessspezifikation.

AMS 2437: Plasmaspritzprozess-Spezifikation

AMS 2437 ist eine von SAE International veröffentlichte Norm. Die neueste Version ist AMS 2437D (13.12.2019) mit dem Titel „Beschichtung, Plasmaspritzen“. Diese Norm legt die technischen Anforderungen und die Beschichtungsleistung für die Beschichtung von Bauteilen durch Plasmaspritzen fest.

1. Geltungsbereich

Anwendbare Objekte : Geeignet für Metall-, Keramik- und Verbundwerkstoffbeschichtungen (wie WC-Co, Aluminiumoxid), die in der Luft- und Raumfahrt, der Industrie und anderen Bereichen verwendet werden.

Verfahren : Plasmaspritzen (APS), bei dem ein Hochtemperatur-Plasmalichtbogen (10.000–15.000 °C) das Pulver schmilzt und auf die Substratoberfläche spritzt.

Zweck : Bereitstellung von verschleißfesten, korrosionsbeständigen oder wärmedämmenden Beschichtungen (z. B. TBC) für Anwendungen mit hohem Verschleiß.

Dicke : Normalerweise <1 mm, je nach Anwendung.

2. Wesentliche Anforderungen

Beschichtungseigenschaften :

Haftung: Bewertet durch Cup-Test oder Biegetest gemäß Abschnitt 3.6.1.

Härte: Gemäß Abschnitt 3.6.5, abhängig vom Beschichtungsmaterial (z. B. WC-Co-Härte ≥ 1000 HV).

Porosität: Typischerweise <5 %, bei mikroskopischer Untersuchung.

prüfen :

Abnahmeprüfung (4.2.1): Jede Charge wird auf Haftung und Härte geprüft.

Periodische Prüfung (4.2.2): Regelmäßige Überprüfung der Prozessstabilität.

Vorproduktionstests (4.2.3): Neue Prozesse oder Materialien erfordern zusätzliche Überprüfung.

3. Einschränkungen

Nicht für das HVOF-Verfahren geeignet.

Es ist kein doppelter Anstrich (d. h. das Übersprühen einer vorhandenen Schicht) erforderlich.

HVOF-Prozessspezifikation: AMS 2447

Benutzer können AMS 2437 fälschlicherweise mit der HVOF-Prozessspezifikation verwechseln. Die korrekte Spezifikation für das HVOF-Verfahren ist AMS 2447, deren neueste Version AMS 2447D (14.01.2019) mit dem Titel „Beschichten, thermisches Spritzen, Hochgeschwindigkeits-Sauerstoff/Brennstoff-Verfahren“ lautet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1. Geltungsbereich

Anwendbare Objekte : Geeignet für Beschichtungen, die im HVOF-Verfahren aufgebracht werden, wie etwa Hartmetall (WC-Co, WC-CoCr), Metalllegierungen (NiCr), die häufig in der Luft- und Raumfahrt für hochverschleißfeste Anwendungen verwendet werden.

Verfahren : HVOF erzeugt durch die Verbrennung von Brennstoff (z. B. Kerosin) mit Sauerstoff eine Überschallflamme (500–1000 m/s), um eine hochdichte Beschichtung abzuschneiden.

Zweck : Bietet hervorragende Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit, besser als Plasmaspritzen (wie AMS 2437).

2. Wesentliche Anforderungen

Beschichtungseigenschaften :

Porosität: <2 %, deutlich geringer als beim Plasmaspritzen.

Haftung: Typischerweise >70 MPa (im Vergleich zu 50–60 MPa beim Plasmaspritzen).

Oberflächenrauheit: Ra 6–16 µm (je nach Anwendung, z. B. Dichtungen benötigen < 0,15 µm) .

Material :

Häufig verwendete Pulver: WC-17Co, WC-10Co-4Cr (AMS 7881, AMS 7882).

Dickenbereich: 25–500 µm (Hartmetall), Legierungsbeschichtungen können dicker sein.

prüfen :

Fluoreszierende Eindringprüfung (FPI): Prüft auf Risse.

Barkhausenrauschen -Erkennung: Schleifbrand auswerten.

Einschränkungen : Nicht für die Doppelbeschichtung geeignet.

3. Typische Anwendungen

Luft- und Raumfahrt: Turbinenschaufeln, Fahrwerke (Haftung 60–90 MPa).

Industrie: verschleißfeste Walzen, Dichtungen.

4. Vergleich mit AMS 2437

Verfahren : AMS 2437 (Plasmaspritzen) weist eine hohe Temperatur und eine hohe Porosität (3–5 %) auf; AMS 2447 (HVOF) weist eine hohe Geschwindigkeit und eine geringe Porosität (< 2 %) auf.

Leistung : HVOF-Beschichtungen (wie WC-Co) haben eine bessere Haftung und Verschleißfestigkeit als Plasmaspritzen.

Anwendung : AMS 2437 eignet sich besser für Wärmedämmschichten (wie ZrO₂), während AMS 2447 besser für hochverschleißfeste Beschichtungen (wie WC-Co) geeignet ist.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

ISO 3252:2019

Pulvermetallurgie-Terminologie
Pulvermetallurgie – Vokabular

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Internationale Norm definiert die Terminologie im Bereich der Pulvermetallurgie und umfasst die Pulveraufbereitung, Charakterisierung und Anwendungstechniken.

Anwendbare Objekte : einschließlich Metallpulver (wie Zink, Aluminium), Keramikpulver (wie Aluminiumoxid) und Verbundpulver (wie WC-Co-Hartmetall), geeignet für Verfahren wie thermisches Spritzen, Sintern und additive Fertigung.

Zweck : Bereitstellung einer einheitlichen Terminologie zur Erleichterung der technischen Kommunikation, der Standardisierung und der Forschung.

1.2 Diese Norm befasst sich nicht mit spezifischen Prozessparametern oder Leistungstestmethoden, sondern konzentriert sich lediglich auf Begriffsdefinitionen.

2. Normative Verweisungen

Es gibt keine direkten Verweise auf andere Normen, die Terminologie ist jedoch an die ISO 4490 (Bestimmung der Pulverpartikelgröße) und die ISO 3953 (Erweiterte Terminologie für die Pulvermetallurgie) angelehnt.

3. Begriffe und Definitionen

Diese Norm klassifiziert verschiedene Aspekte der Pulvermetallurgie und definiert die folgenden Schlüsselbegriffe:

3.1 Pulvereigenschaften

Pulver : Ein loses Material, das aus Partikeln besteht, deren Partikelgröße normalerweise zwischen 1 nm und 1 mm liegt.

Partikelgröße : Die maximale lineare Größe eines einzelnen Partikels, ausgedrückt in μm oder nm.

Partikelgrößenverteilung : Die prozentuale Verteilung der Pulverpartikel entsprechend dem Größenbereich, normalerweise ausgedrückt als D10, D50 und D90.

Morphologie : Die Form und Oberflächeneigenschaften von Partikeln, z. B. kugelförmig, unregelmäßig oder polyedrisch.

Spezifische Oberfläche : Die Gesamtoberfläche pro Masseneinheit Pulver, ausgedrückt in m^2/g .

3.2 Physikalische Eigenschaften

Scheinbare Dichte : Die Masse pro Volumeneinheit des Pulvers, wenn keine äußere Kraft angewendet wird, ausgedrückt in g/cm^3 .

Klopfichte : Die Masse pro Volumeneinheit des Pulvers nach dem Klopfen, ausgedrückt in g/cm^3 .

Fließfähigkeit : Die Fließeigenschaften von Pulver unter Schwerkraft oder mechanischer Einwirkung, die Einheit ist s/50 g (Hall-Auslaufbechermethode).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kompressibilität : Die Fähigkeit eines Pulvers, nach der Komprimierung sein Volumen zu reduzieren, ausgedrückt in g/cm^3 .

3.3 Chemische Eigenschaften

Chemische Zusammensetzung : Der prozentuale Gehalt jedes Elements oder jeder Verbindung im Pulver.

Oxidgehalt : Der Massenanteil von Oxid im Pulver, ausgedrückt in %.

Verunreinigung : Unbeabsichtigte Elemente oder Verbindungen, die nicht zur Hauptkomponente gehören.

3.4 Vorbereitung und Verarbeitung

Zerstäubung : Der Prozess der Pulverherstellung durch Beaufschlagung von geschmolzenem Metall mit Flüssigkeit oder Gas.

Mechanisches Legieren: Ein Verfahren zum Mischen und Legieren von Pulverkomponenten durch Hochenergie- Kugelmahlen.

Sintern : Der Prozess, bei dem Pulverpartikel bei hohen Temperaturen zu porösen oder dichten Materialien verbunden werden.

Thermisches Spritzen : Ein Verfahren, bei dem Pulver bis zum Schmelzen oder Halbschmelzen erhitzt und dann auf die Oberfläche des Substrats gesprüht wird.

3.5 Anwendungen

Cermet : Ein Verbundwerkstoff aus Karbid (z. B. WC) und einer metallischen Bindungsphase (z. B. Co).

Additive Fertigung: Ein Verfahren, bei dem Teile durch schichtweises Abscheiden von Pulver hergestellt werden, beispielsweise das selektive Laserschmelzen (SLM).

Beschichtung : Eine Schutz- oder Funktionsschicht, die durch thermisches Spritzen oder Abscheiden auf der Oberfläche eines Substrats gebildet wird.

3.6 Prüfmethoden

Sieben : Eine Methode zur Bestimmung der Partikelgrößenverteilung von Pulvern mithilfe eines Standardsiebs.

Laserbeugungsanalyse : Eine Technologie, die Laserstreuung zur Messung der Partikelgrößenverteilung von Pulvern nutzt.

Mikroskopische Untersuchung : Analysieren Sie die Pulvermorphologie und Defekte mithilfe optischer oder Rasterelektronenmikroskopie (SEM).

4. Klassifizierung

Nach Materialtyp :

Metallpulver (wie Fe, Cu).

Keramische Pulver (wie Al_2O_3 , ZrO_2) .

Verbundpulver (wie WC-Co).

Nach Partikelform :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sphärisches Pulver.
Unregelmäßiger Puder.
Poröses oder hohles Pulver.

Nach Anwendung :

Strukturmaterialien.
Funktionale Materialien (wie etwa leitfähige Beschichtungen).

5. Anhänge

Anhang A : Glossar der Begriffe (Englisch-Chinesisch).

Beispiele: Partikelgröße, Fließfähigkeit.

Anhang B : Schematische Darstellung der Partikelmorphologie.

Beispiele: kugelförmiges Pulver, nadelförmiges Pulver.

6. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit : Technische Dokumentation, Entwicklung von Standards und Schulung für die Pulvermetallurgiebranche, einschließlich der Verwendung der Terminologie für thermische Spritzpulver.

Grenze :

Es enthält keine spezifischen Testmethoden oder Prozessparameter, für die ein Verweis auf Normen wie ISO 4490 erforderlich wäre.

Begriffsdefinitionen, die auf andere Bereiche als die Pulvermetallurgie nicht anwendbar sind.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

ISO 14923:2003
Thermisches Spritzen
— Charakterisierung und Prüfung thermisch gespritzter Schichten
Thermisches Spritzen
— Charakterisierung und Prüfung thermischer Spritzschichten

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Internationale Norm legt Verfahren zur Charakterisierung und Prüfung thermisch gespritzter Beschichtungen (TWCs) fest, die zur Bewertung ihrer Eigenschaften und Qualität geeignet sind.

Anwendbare Objekte: einschließlich Metallbeschichtungen (wie Zink, Nickel), Keramikbeschichtungen (wie Aluminiumoxid) und Verbundbeschichtungen (wie WC-Co-Hartmetall/Cermet-Beschichtung), geeignet für Flammgespritzen (Flame Spraying / Flame Spraying), Lichtbogenspritzen (Arc Spraying / Arc Spraying), Plasmaspritzen (Plasma Spraying, APS/VPS / Plasma Spraying, APS/VPS), HVOF und DGS-Verfahren.

Zweck: Bereitstellung standardisierter Testmethoden zur Bewertung von Eigenschaften wie Haftung, Porosität und Dicke.

1.2 Diese Norm gilt für Beschichtungen mit einer Dicke (Dicke) $\geq 0,05$ mm.

1.3 Diese Norm behandelt nicht den Beschichtungsvorbereitungsprozess (Beschichtungsvorbereitungsprozess / Beschichtungsvorbereitungsprozess), sondern stellt lediglich Prüfmethoden und Charakterisierungstechniken bereit.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente, und deren Abschnitte werden durch Bezugnahme in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm:

ISO 4287:1997 – Geometrische Produktspezifikationen (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Profilmethode – Begriffe, Definitionen und Parameter der Oberflächenbeschaffenheit / Geometrische Produktspezifikationen (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Profilmethode – Begriffe, Definitionen und Parameter der Oberflächenbeschaffenheit

ISO 6507-1:2005 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Vickers – Teil 1: Prüfverfahren

ISO 8501-1:2007 – Vorbereitung von Stahlsubstraten vor dem Auftragen von Farben und verwandten Produkten – Visuelle Beurteilung der Oberflächenreinheit – Teil 1: Rostgrade und Vorbereitungsgrade von unbeschichteten Stahlsubstraten und von Stahlsubstraten nach der vollständigen Entfernung vorheriger Beschichtungen

ISO 9227:2017 – Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären – Salzsprühnebelprüfungen

Hinweis: Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils aktuelle Fassung.

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

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet:

Thermisch gespritzte Beschichtung: Eine Beschichtung, die durch ein thermisches Spritzverfahren auf die Oberfläche eines Substrats aufgebracht wird.

Haftung: Die Bindungsstärke zwischen der Beschichtung und dem Substrat (Bindungsstärke), gemessen in MPa.

Kohäsion: Die Bindungsstärke zwischen Partikeln innerhalb der Beschichtung, gemessen in MPa.

Porosität: Der Prozentsatz des Porenvolumens einer Beschichtung im Verhältnis zum Gesamtvolumen, ausgedrückt in %.

von der Substratoberfläche zur Oberseite der Beschichtung (vertikaler Abstand) in μm .

4. Charakterisierungsmethoden

4.1 Dickenmessung

Verfahren:

Magnetische Methode (ISO 2178): Anwendbar auf nichtmagnetische Beschichtungen auf magnetischen Substraten.

Wirbelstrommethode (ISO 2360): Anwendbar auf nichtleitende Beschichtungen auf nicht magnetischen Metallsubstraten.

Mikroskopische Methode: Querschnittsbeobachtung, 5 Punkte messen und Durchschnittswert ermitteln.

Genauigkeit: $\pm 5\%$ oder $\pm 5\mu\text{m}$ (je nachdem, welcher Wert größer ist).

4.2 Porositätsbestimmung

Verfahren:

Mikroskopische Methode: Analyse von Querschnittsbildern zur Berechnung des prozentualen Porenbereichs.

Penetrationsmethode: Verwenden Sie Farbstoff (Farbstoff/Farbstoff) oder Gas (Gas/Gas), um die Porenkonnektivität zu beurteilen.

Genauigkeit: $\pm 1\%$ oder $\pm 0,5\%$ (je nach Vergrößerung).

4.3 Oberflächenrauheit

Methode: Stylus-Profilometer (ISO 4287), Messung des Ra-Wertes.

Der typische Wert liegt je nach Anwendung zwischen 2 und 15 μm .

4.4 Mikrostrukturanalyse

Methode: Optisches Mikroskop oder Rasterelektronenmikroskop (REM), Vergrößerung 50-1000x.

Parameter: Beobachten Sie Risse, Oxideinschlüsse und Spritzermorphologie.

5. Testmethoden

5.1 Haftungsprüfung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Methode: Zugversuch (ISO 4624) unter Verwendung eines Klebstoffs und einer Zugprüfmaschine.

Probe: Durchmesser 25 mm, Schichtdicke 0,1–1,0 mm.

Ladegeschwindigkeit: 0,5–2 mm/min.

Berechnung: Haftung (MPa) = Maximalkraft / Querschnittsfläche.

Ausfallart: Adhäsionsversagen oder Kohäsionsversagen.

5.2 Härteprüfung

Methode: Härteprüfung nach Vickers (ISO 6507-1), Belastung 5–10 N.

Genauigkeit: ± 5 HV oder ± 10 % (je nachdem, welcher Wert größer ist).

5.3 Korrosionsbeständigkeitsprüfung

Methode: Salzsprühtest (ISO 9227), Dauer: 24–480 Stunden.

Auswertung: Notieren Sie den Rostflächenanteil.

5.4 Verschleißfestigkeitsprüfung

Methode: Der Volumenverlust wurde gemäß ASTM G65 (Trockensand-/Gummiradtest) gemessen.

Genauigkeit: $\pm 5\%$ oder $\pm 0,1 \text{ mm}^3$.

6. Probenvorbereitung

Abmessungen:

Dickenmessung: $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times$ Beschichtungsdicke.

Haftungsprüfung: Durchmesser 25 mm, Dicke $\geq 5 \text{ mm}$.

Oberflächenvorbereitung: Sandstrahlen ($Ra \text{ } 3\text{--}5 \text{ }\mu\text{m}$), Entfernung von Verunreinigungen.

Menge: ≥ 3 Proben pro Gruppe, repräsentative Prüfung.

7. Testbedingungen

Umgebung: Temperatur $20 \pm 5^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit $< 60\%$, keine Vibration.

Ausstattung: Kalibrierung (Calibration / Calibration), Genauigkeit (Accuracy / Accuracy) $\pm 2\%$.

8. Prüfbericht

Inhalt

Informationen zu Beschichtungsmaterial und Substrat (z. B. WC-12Co, Stahlsubstrat).

Herstellungsverfahren (Prozess / Herstellungsprozess, z. B. HVOF) und Beschichtungsdicke (Dicke / Beschichtungsdicke).

Charakterisierungsergebnisse (Dicke, Porosität, Rauheit).

Testergebnisse (Testergebnisse / Prüfergebnisse, Haftung, Härte, Korrosionsbeständigkeit).

Fotos zum Ausfallmodus (Failure Mode) und zur Mikrostruktur (Microstructure).

Prüfdatum (Datum / Prüfdatum), Bediener (Bediener / Bediener) und Gerätenummer (Gerätenummer / Gerätenummer).

Beispiel: WC-Co-Beschichtung (HVOF), Dicke $250 \text{ }\mu\text{m}$, Porosität $1,5\%$, Haftung 70 MPa , Versagensart ist Kohäsionsversagen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision: Abweichung innerhalb des Labors (innerhalb des Labors / innerhalb des Labors) <5 %, zwischen Laboren (zwischen Laboren / zwischen Laboren) <10 %.

Messabweichung: Kann durch ungleichmäßige Probenvorbereitung oder unzureichende Gerätekalibrierung verursacht werden. Die Qualität der Oberflächenvorbereitung muss kontrolliert werden.

10. Anhänge

Anhang A (Anhang A / Appendix A): Dickenmessdiagramm (Dickenmessdiagramm / Dickenmessdiagramm).

Anhang B (Anhang B / Anhang B): Verfahren zur Vorbereitung von Proben für Haftprüfungen (Verfahren zur Vorbereitung von Proben für Haftprüfungen / Verfahren zur Vorbereitung von Proben für Haftprüfungen).

11. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit: Anwendbar auf die Qualitätskontrolle und Leistungsbewertung thermisch gespritzter Beschichtungen.

Einschränkungen:

Nicht geeignet für ultradünne Beschichtungen mit einer Dicke von $\leq 0,05$ mm.

Der Beschichtungsvorbereitungsprozess ist nicht spezifiziert und es wird auf ISO 14917:2017 – *Thermisches Spritzen – Terminologie, Klassifizierung* verwiesen .

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

Anhang:

ISO 4505:2017
Metallische Werkstoffe
— Härteprüfung — Prüfmethode
Metallische Werkstoffe
— Härteprüfung — Prüfmethode

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Internationale Norm legt ein allgemeines Verfahren zur Härteprüfung metallischer Werkstoffe fest. Sie ist auf die Härteprüfung nach Vickers, Brinell und Rockwell anwendbar.

Anwendbare Objekte: Anwendbar auf Metallmaterialien, einschließlich thermisch gespritzter Beschichtungen (wie WC-Co-Hartmetall/Cermet-Beschichtung) und andere Metallteile.

Zweck: Bereitstellung einer standardisierten Härteprüfmethode, um die Wiederholbarkeit und Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

1.2 Diese Norm gilt für Proben mit einer Dicke von $\geq 0,5$ mm.

1.3 Diese Norm deckt nicht die Härteprüfung nichtmetallischer Werkstoffe wie Keramik oder Kunststoffe ab, kann aber auf Verbundwerkstoffe mit Metallmatrix erweitert werden.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente, und deren Abschnitte werden durch Bezugnahme in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm:

ISO 6506-1:2014 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Brinell – Teil 1: Prüfverfahren

ISO 6507-1:2018 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Vickers – Teil 1: Prüfverfahren

ISO 6508-1:2016 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell – Teil 1: Prüfverfahren

ISO 18265:2013 – Metallische Werkstoffe – Umrechnung von Härtewerten

Hinweis: Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils aktuelle Fassung.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet:

Härte: Die Fähigkeit eines Materials, lokaler plastischer Verformung zu widerstehen, normalerweise durch Eindrücken gemessen.

Vickershärte (Vickers-Härte): Die Härte, die durch Drücken eines quadratischen, kegelförmigen Diamanteindringkörpers (Diamant-Eindringkörper) gemessen wird, ausgedrückt als HV.

Brinellhärte (Brinellhärte / Brinellhärte): Die durch Eindrücken einer Hartmetallkugel (Hartmetallkugel / Hartmetallkugel) gemessene Härte, ausgedrückt in HBW.

Rockwell-Härte: Die Härte wird gemessen, indem eine Diamant- oder Stahlkugel in das Teststück gedrückt und die Tiefe gemessen wird, ausgedrückt in HR (z. B. HRC, HRB).

Eindruck: Die bleibende Verformungsspur, die der Eindringling auf der Oberfläche der Probe hinterlässt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Grundsätze der Prüfung

Vickershärte: Verwenden Sie einen Diamant-Eindringkörper mit einem quadratischen Kegel von 136° , um eine bestimmte Last anzuwenden, messen Sie die diagonale Länge des Eindrucks und berechnen Sie den Härtewert.

Brinellhärte: Verwenden Sie eine Hartmetallkugel, um eine Last anzuwenden, messen Sie den Eindruckdurchmesser und berechnen Sie den Härtewert.

Rockwell-Härte: Vor- und Hauptlast aufbringen, Eindringtiefe messen und Härtewert direkt ablesen.

5. Testmethoden

5.1 Härteprüfung nach Vickers

Gerät: Vickers-Härteprüfgerät gemäß ISO 6507-1.

Belastung: 0,01 kgf bis 100 kgf (0,098 N bis 980,7 N).

Verfahren:

Legen Sie die Last an und halten Sie sie 10–15 Sekunden lang.

Messen Sie die diagonale Länge der Vertiefung mindestens zweimal und ermitteln Sie den Durchschnittswert.

Berechnung:

$HV = 1,8544 \times F / d^2$, wobei F die Last (N) und d die durchschnittliche Diagonallänge (mm) ist.

Genauigkeit: ± 5 HV oder ± 5 % (je nachdem, welcher Wert größer ist).

5.2 Brinellhärteprüfung

Gerät: Brinell-Härteprüfgerät gemäß ISO 6506-1.

Belastung: 1 kgf bis 3000 kgf (9,807 N bis 29420 N).

Kugeldurchmesser: 1 mm, 2,5 mm, 5 mm oder 10 mm.

Verfahren:

Legen Sie die Last an und halten Sie sie 10–15 Sekunden lang.

Messen Sie den Eindruckdurchmesser (Durchmesser) in mindestens zwei Richtungen und ermitteln Sie den Durchschnittswert.

Berechnung:

$HBW = 0,102 \times (2F / (\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})))$, wobei F die Last (N), D der Kugeldurchmesser (mm) und d der Eindruckdurchmesser (mm) ist.

Genauigkeit: ± 5 HBW oder ± 5 % (je nachdem, welcher Wert größer ist).

5.3 Rockwell-Härteprüfung

Gerät: Rockwell-Härteprüfgerät gemäß ISO 6508-1.

Laden:

Vorspannung: 10 kgf (98,07 N).

Hauptlast: 60 kgf, 100 kgf oder 150 kgf (588,4 N, 980,7 N oder 1471 N).

Eindringkörper: Diamantkegel oder Stahlkugel.

Verfahren:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vorspannung anwenden und 2–5 Sekunden halten.
Wenden Sie die Primärlast an und halten Sie sie 4–6 Sekunden lang.
Hauptlast entfernen und Härtewert ablesen.
Genauigkeit: $\pm 0,5$ HRC oder ± 1 % (je nachdem, welcher Wert größer ist).

6. Probenvorbereitung

Oberflächenvorbereitung: Die Oberfläche der Probe muss eben sein, eine Rauheit von $R_a < 0,8 \mu\text{m}$ aufweisen und Oxidschichten sowie Ölflecken müssen entfernt sein.

Dicke: Probendicke ≥ 10 -fache Eindringtiefe.

Menge: ≥ 3 Proben pro Gruppe, repräsentative Prüfung.

7. Testbedingungen

Umgebung: Temperatur $20 \pm 5^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit < 60 %, keine Vibration.

Gerätekalibrierung: Genauigkeit des Härteprüfgeräts ± 2 %, einmal jährlich kalibriert.

8. Prüfbericht

Inhalt

Informationen zu Probenmaterial und Substrat (z. B. WC-Co-Beschichtung, Stahlsubstrat).

Prüfverfahren (Prüfmethode / Prüfverfahren, z. B. Vickershärte).

Last (Load) und Eindringkörpertyp (Indenter Type).

Härtewert (Härtewert) und Standardabweichung (Standardabweichung).

Prüfdatum (Datum / Prüfdatum), Bediener (Bediener / Bediener) und Gerätenummer (Gerätenummer / Gerätenummer).

Beispiel: WC-Co-Beschichtung, Vickershärte HV 1200 ± 20 (Belastung 5 N).

9. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision: Abweichung innerhalb des Labors (innerhalb des Labors / innerhalb des Labors) < 3 %, zwischen Laboren (zwischen Laboren / zwischen Laboren) < 5 %.

Vorspannung: Kann durch Oberflächenunebenheiten oder Lastabweichungen verursacht werden und erfordert eine Kontrolle der Oberflächenqualität und eine Kalibrierung der Geräte.

10. Anhänge

Anhang A: Härte-Umrechnungstabelle, siehe ISO 18265.

Diagramm zur Eindruckmessung .

11. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit: Geeignet für Härteprüfungen von metallischen Werkstoffen und thermischen Spritzbeschichtungen, wird häufig in der Qualitätskontrolle verwendet.

Einschränkungen:

Nicht geeignet für nichtmetallische Werkstoffe (z. B. Keramik, ungesintert).

Dünne Beschichtungen mit einer Dicke von $< 0,5$ mm sollten mit Vorsicht verwendet werden und es kann eine Mikroladung erforderlich sein.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

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

Anhang:

ISO 9227:2017 Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären

— Salzsprühnebeltests

Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären

— Salzsprühnebelprüfung

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Internationale Norm legt das Verfahren zur Durchführung von Salzsprühtests (Salt Spray Tests / Salt Spray Tests) in künstlichen Atmosphären (Artificial Atmospheres / Artificial Atmospheres) zur Bewertung der Korrosionsbeständigkeit (Corrosion Resistance / Corrosion Resistance) von metallischen Werkstoffen und deren Beschichtungen fest.

Anwendbare Objekte: einschließlich metallischer Materialien, thermisch gespritzter Beschichtungen (wie WC-Co-Hartmetall/Cermet-Beschichtung), galvanischer Beschichtungen und organischer Beschichtungen.

Zweck: Bewertung der Korrosionsbeständigkeit von Materialien oder Beschichtungen durch Simulation einer Salzsprühumgebung zur Qualitätskontrolle und Leistungsüberprüfung.

1.2 Diese Norm umfasst drei Prüfverfahren:

Neutraler Salzsprühtest (NSS / Neutraler Salzsprühtest, NSS).

Essigsäure-Salzsprühtest (AASS).

Kupferbeschleunigter Essigsäure-Salzsprühtest (CASS).

1.3 Diese Norm dient nicht der Vorhersage der langfristigen Korrosionsbeständigkeit von Materialien in realen Umgebungen und ist nur für Laborvergleichstests vorgesehen.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente, und deren Abschnitte werden durch Bezugnahme in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm:

ISO 1514:2016 – Farben und Lacke – Normplatten für die Prüfung

ISO 2808:2019 – Beschichtungsstoffe und Lacke – Bestimmung der Filmdicke

ISO 3574:2012 – Kaltgewalztes Kohlenstoffstahlblech in Handels- und Ziehqualitäten

ISO 8044:2015 – Korrosion von Metallen und Legierungen – Grundlegende Begriffe und Definitionen

ISO 8407:2021 – Korrosion von Metallen und Legierungen – Entfernung von Korrosionsprodukten von Korrosionsprüfkörpern

Hinweis: Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils aktuelle Fassung.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet, von denen sich einige auf ISO 8044 beziehen:

Salzsprühnebel: Ein durch die Zerstäubung einer Salzlösung (Salt Solution) gebildetes Aerosol, das zur Simulation einer korrosiven Umgebung verwendet wird.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Korrosionsbeständigkeit: Die Fähigkeit eines Materials oder einer Beschichtung, Korrosion zu widerstehen, normalerweise beurteilt anhand des Ausmaßes der Bildung von Korrosionsprodukten.

Probe: Für den Salzsprühtest verwendetes Testexemplar.

NSS (Neutral Salt Spray): Salzsprühtest mit neutraler Salzlösung (pH 6,5–7,2).

AASS (Acetic Acid Salt Spray): Ein Salzsprühtest, bei dem Essigsäure hinzugefügt wird, um den pH-Wert (3,1–3,3) zu senken.

CASS (Copper-Accelerated Acetic Acid Salt Spray): Ein Salzsprühtest, bei dem AASS Kupferchlorid (Kupferchlorid) hinzugefügt wird, um die Korrosion zu beschleunigen.

4. Grundsätze der Prüfung

Die Probe wird einer Salzsprühumgebung (Salt Spray Environment / Salt Spray Environment) ausgesetzt und durch Zerstäubung der Salzlösung (Salt Solution / Salt Solution) entsteht ein gleichmäßiges ätzendes Aerosol (Corrosive Aerosol / Corrosive Aerosol).

Das Ausmaß der Korrosion wird durch Beobachtung der Bildung von Korrosionsprodukten (Corrosion Products / Corrosion Products), des Masseverlusts (Mass Loss / Mass Loss) oder der Oberflächendefekte (Surface Defects / Surface Defects) beurteilt.

5. Prüfgerät

Salzsprühkammer (Salzsprühkammer):

Kapazität: ≥ 400 l, gewährleistet gleichmäßige Zerstäubung.

Material: Korrosionsbeständige Materialien, wie beispielsweise glasfaserverstärkter Kunststoff (Fiberglass Reinforced Plastic).

Düse: Nichtmetallisches Material, erzeugt gleichmäßigen feinen Nebel (Fine Mist).

Temperaturkontrolle: Die Temperatur in der Testkammer wird bei $35 \pm 2^\circ\text{C}$ gehalten.

Auffanggerät: Mindestens 2 Auffangtrichter zur Messung der Salzsprühnebelablagerungsrate.

6. Testlösung

Salzlösung:

Inhaltsstoffe: Natriumchlorid (NaCl / Natriumchlorid) Konzentration 50 ± 5 g/L.

Reinheit: NaCl-Verunreinigung $< 0,5\%$, enthält kein Kupfer und Nickel.

Wasserqualität: Destilliertes oder deionisiertes Wasser, Leitfähigkeit < 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

pH-Wert:

NSS: 6,5–7,2.

AASS: 3,1–3,3 (eingestellt durch Zugabe von Essigsäure).

CASS: 3,1–3,3 ($0,26 \pm 0,02$ g/l Kupferchlorid hinzufügen).

7. Probenvorbereitung

Probenabmessungen: Empfohlen $150\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times \text{Dicke}$, gemäß ISO 1514.

Vorbereitung:

Entfernt Ölflecken (Verunreinigungen / Ölflecken) und Oxidablagerungen (Oxidablagerungen / Oxidablagerungen).

Thermische Spritzbeschichtung: Oberflächenrauheit $R_a 3-5\text{ }\mu\text{m}$, gemäß ISO 8501-1.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Menge: ≥ 3 Proben pro Gruppe, repräsentative Prüfung.

Positionierung: Die Probe sollte in einem Winkel von 15° - 30° zur Senkrechten platziert werden, um direktes Besprühen zu vermeiden.

8. Testbedingungen

Temperatur: $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ in der Prüfkammer.

Salzsprühnebel-Abscheidungsrate: $1-2 \text{ ml} / (80 \text{ cm}^2 \cdot \text{h})$.

Testdauer:

NSS: 24 h, 48 h, 96 h, 240 h, 480 h oder 720 h.

AASS und CASS: 24 h, 48 h oder 96 h.

Luftfeuchtigkeit: Relative Luftfeuchtigkeit: 95 %–100 %.

9. Testverfahren

Vorbereitung

Salzlösung vorbereiten und pH-Wert anpassen.

Prüfkammer auf 35°C vorheizen.

Testen:

Legen Sie die Probe in die Testkammer und starten Sie den Salzsprühnebel.

Überprüfen Sie alle 24 Stunden die Sedimentationsrate und Temperatur.

Fertigstellung:

Nach dem Test wird die Probe mit destilliertem Wasser gewaschen, um Salz (Salzablagerungen) zu entfernen.

Entfernung von Korrosionsprodukten (Corrosion Products / Korrosionsprodukte) gemäß ISO 8407.

10. Bewertungsmethoden

Sichtprüfung: Beobachten Sie die Verteilung von Korrosionsprodukten, Rostflecken und abblätternder Beschichtung.

Masseverlust: Der Masseverlust einer Probe vor und nach der Prüfung wird in g/m^2 gemessen.

Korrosionsbewertung: Bewertet gemäß ISO 8407, z. B. keine Korrosion, leichte Korrosion usw.

11. Prüfbericht

Inhalt

Informationen zu Probenmaterial und Beschichtung (z. B. WC-Co-Beschichtung, Stahlsubstrat).

Testmethode (Testmethode, z. B. NSS).

Testbedingungen: Temperatur, Sedimentationsrate, Zeit.

Auswertungsergebnisse: Korrosionsgrad, Masseverlust, Fotos.

Testdatum (Datum / Testdatum), Bediener (Bediener / Bediener) und Gerätenummer (Gerätenummer / Gerätenummer).

Beispiel: WC-Co-Beschichtung, NSS-Test 480 h, Oberfläche leichte Korrosion (Slight Corrosion), Massenverlust $2,5 \text{ g}/\text{m}^2$.

12. Präzision und Voreingenommenheit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Präzision: Abweichung innerhalb des Labors (innerhalb des Labors / innerhalb des Labors) <10 %, zwischen Laboren (zwischen Laboren / zwischen Laboren) <15 %.

Verzerrung: Kann durch die Gleichmäßigkeit des Sprühnebels oder die Position der Probe beeinflusst werden und die Sprühverteilung muss kontrolliert werden.

13. Anhänge

Anhang A (Anhang A): Richtlinien für die Konstruktion von Salzsprühkammern (Richtlinien für die Konstruktion von Salzsprühkammern).

Anhang B (Annex B / Appendix B): Standardreferenzmaterialien (Standard Reference Materials / Standard Reference Materials).

14. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit: Anwendbar für Korrosionsbeständigkeitstests von Metallmaterialien und Beschichtungen, wird häufig in der Qualitätskontrolle verwendet.

Einschränkungen:

Nicht geeignet zur Vorhersage der langfristigen Korrosionsbeständigkeit in realen Umgebungen.

Bei nichtmetallischen Beschichtungen ist Vorsicht geboten. Eine Anpassung der Testbedingungen kann erforderlich sein.

Zusammenfassung

Die ISO 9227:2017 „Korrosionsprüfungen in künstlichen Atmosphären – Salzsprühnebelprüfungen“ stellt Standardverfahren für Salzsprühnebelprüfungen (NSS, AASS, CASS) bereit, die sich zur Bewertung der Korrosionsbeständigkeit von metallischen Werkstoffen und thermischen Spritzbeschichtungen (wie z. B. Hartmetallbeschichtungen) eignen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

ASTM B665-01 (2014)
Standardhandbuch zur metallografischen Identifizierung der Mikrostruktur in
Hartmetallen
Standardhandbuch zur metallografischen Identifizierung von Hartmetall-
Mikrostrukturen

1. Geltungsbereich

1.1 Dieser Standardleitfaden legt metallografische Identifizierungsmethoden für die Mikrostruktur von Hartmetallen sowohl für die Qualitätskontrolle als auch für Forschungszwecke fest.

Anwendbare Objekte: Verbundwerkstoffe auf Basis von Wolframkarbid (WC) (wie WC-Co), Titankarbid (TiC) und Tantalkarbid (TaC) werden häufig in thermischen Spritzbeschichtungen (Thermal Sprayed Coatings) und Schneidwerkzeugen verwendet.

Zweck: Bereitstellung einer standardisierten Methode zur Charakterisierung von Mikrostrukturen und Identifizierung von Phasenstruktur, Porosität und Defekten.

1.2 Diese Spezifikation gilt für gesinterte (gesinterte) oder thermisch gespritzte (thermisch gespritzte) Hartmetalle.

1.3 Diese Norm behandelt nicht die Prüfung der mechanischen Eigenschaften (Mechanical Property Testing) von Hartmetall.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente, und deren Abschnitte werden durch Bezugnahme in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm:

ASTM E3-11(2017) – Standardhandbuch zur Vorbereitung metallografischer Proben

ASTM E7-15 – Standardterminologie in Bezug auf die Metallographie

ASTM E407-07(2015)e 1 - Standardverfahren für das Mikroätzen von Metallen und Legierungen

Hinweis: Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils aktuelle Fassung.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet, die sich auf ASTM E7 beziehen:

Hartmetall: Ein Verbundwerkstoff aus Carbiden (z. B. WC) und einer metallischen Bindephase (z. B. Co), der durch Sintern hergestellt wird.

Mikrostruktur: Die innere Phasenstruktur und Defekteigenschaften eines Materials, beobachtet unter einem Mikroskop.

Porosität: Die Hohlräume im Hartmetall werden in Typ A (kleine Poren), Typ B (mittlere Poren) und Typ C (große Poren) unterteilt.

Bindephase (Binderphase): Wie beispielsweise Kobalt (Cobalt) oder Nickel (Ni), das die Carbidpartikel bindet.

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

Ätzen: Verfahren zum Freilegen mikrostruktureller Merkmale mit chemischen oder elektrochemischen Mitteln.

4. Prinzipien der Mikrostrukturidentifizierung

Durch metallografische Präparation (Metallografische Präparation / Metallografische Präparation) und Ätzen (Ätzen / Ätzen) werden die Phasenstruktur (Phasenstruktur / Phasenstruktur), die Korngröße (Korngröße / Korngröße) und die Defekte (Defekte / Defekte) von Hartmetall mithilfe eines optischen Mikroskops (Optisches Mikroskop / Optisches Mikroskop) oder eines Rasterelektronenmikroskops (SEM / Rasterelektronenmikroskop) beobachtet.

5. Probenvorbereitung

Trennen: Verwenden Sie eine Diamantsäge und vermeiden Sie Überhitzung.

Schleifen: Verwenden Sie SiC- Schleifpapier (Siliziumkarbidpapier), von grob (#120) bis fein (#1200).

Polieren: Mit Diamantsuspension (Diamantsuspension, Partikelgröße $1\ \mu\text{m}$) auf Hochglanz polieren.

Radierung:

Empfohlenes Reagenz: Murakami-Reagenz ($10\ \text{g K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6] + 10\ \text{g KOH} + 100\ \text{mL H}_2\text{O}$), Ätzzeit 5-15 Sekunden.

Alternative Methode: Elektrolytisches Ätzen (Electrolytic Etching) mit 10%iger HCl-Lösung.

Reinigung: Mit Ethanol (Ethanol) reinigen, trocknen (Trocken).

6. Mikroskopische Untersuchung

Ausrüstung: Optisches Mikroskop (50- bis 1000-fache Vergrößerung) oder SEM.

Beobachtungsparameter

Hartmetallkorngröße: Gemessen gemäß ASTM E112.

Porosität: Eingeteilt in Typ A, B und C, siehe ISO 4505.

Mängel: wie Risse und Einschlüsse.

Vergrößerung: Je nach Partikelgröße wird eine 100- bis 500-fache Vergrößerung empfohlen.

7. Mikrostrukturklassifizierung

Phasenstruktur

WC-Co: Wolframkarbidpartikel (WC Grains / Wolframkarbidpartikel) und Kobaltbinder (Co Binder / Kobaltbinder).

Mehrphasenlegierungen: Enthält TiC oder TaC .

Körnungsgrad:

Ultrafein: $\leq 0,5\ \mu\text{m}$.

Fein: $0,5\text{--}2\ \mu\text{m}$.

Medium : $2\text{--}5\ \mu\text{m}$.

Grob: $>5\ \mu\text{m}$.

Porositätsgrad:

A00-A04: Kleine Poren.

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

B00-B 04: Mittlere Poren (Mittlere Poren / Mittlere Poren).

C00-C04: Große Poren.

8. Bericht

Inhalt

Probenmaterial: z. B. WC-12Co-Beschichtung, Substrat.

Herstellungsverfahren: z. B. thermisches Spritzen (HVOF).

Mikrostrukturmerkmale: Korngröße, Porosität, Defekte.

Ätzbedingungen: Reagenzien und Zeit.

Fotografien und Vergrößerungen.

Prüfdatum (Datum / Prüfdatum), Bediener (Bediener / Bediener) und Gerätenummer (Gerätenummer / Gerätenummer).

Beispiel: WC-12Co-Beschichtung, Korngröße $2\ \mu\text{m}$, Porositätsgrad A02, Vergrößerung 200x, keine Risse.

9. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision: Abweichung innerhalb des Labors (innerhalb des Labors / innerhalb des Labors) $<5\%$, zwischen Laboren (zwischen Laboren / zwischen Laboren) $<10\%$.

Verzerrung: Kann durch ungleichmäßige Vorbereitung oder Überätzung verursacht werden. Die Qualität der Vorbereitung muss kontrolliert werden.

10. Anhänge

Anhang A: Herstellung des Murakami-Reagenz.

Anhang B: Beispiele für mikroskopische Untersuchungen.

11. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit: Geeignet für die Qualitätskontrolle und Erforschung von Hartmetall-Mikrostrukturen, insbesondere für thermische Spritzbeschichtungen.

Einschränkungen:

Nicht für Nicht-Hartmetall-Werkstoffe geeignet.

Bei ultradünnen Beschichtungen ($<0,1\text{ mm}$) muss die Herstellungsmethode angepasst werden.

Zusammenfassung

ASTM B665-01 (2014) „Standardhandbuch zur metallografischen Identifizierung der Mikrostruktur in Hartmetallen / Standardhandbuch zur metallografischen Identifizierung der Mikrostruktur in Hartmetallen“ bietet Methoden zur mikrostrukturellen Identifizierung von Hartmetallen (wie thermisch gespritzten WC-Co-Beschichtungen), einschließlich Vorbereitung, Korrosion und mikroskopischer Untersuchung, die für die Qualitätskontrolle und Forschung geeignet sind.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

ASTM E2283-08 (2019)

**Standardverfahren für die Extremwertanalyse nichtmetallischer Einschlüsse in
Stahl und anderer mikrostruktureller Merkmale
Standardverfahren für die Extremwertanalyse nichtmetallischer Einschlüsse in
Stahl und anderer mikrostruktureller Merkmale**

1. Geltungsbereich

1.1 Dieses Standardverfahren bietet eine Methode zur Schätzung der maximalen Größe (Maximalgröße) nichtmetallischer Einschlüsse (nichtmetallische Einschlüsse) oder anderer mikrostruktureller Merkmale (mikrostrukturelle Merkmale) in Stahl mithilfe einer statistischen Extremwertanalyse.

Anwendbare Objekte: Stahl, Hartmetalle (wie thermische WC-Co-Spritzbeschichtungen) und andere Metallmaterialien, mit Schwerpunkt auf der Analyse nichtmetallischer Einschlüsse, Porosität oder Mikrodefekte.

Zweck: Vorhersage der Größe des größten Einschlusses oder Defekts in einem Material durch statistische Methoden zur Bewertung von Materialeigenschaften (wie z. B. Ermüdungslebensdauer) und Qualitätskontrolle.

1.2 Diese Norm gilt für die mikrostrukturellen Merkmale, die mit einem metallografischen Mikroskop (metallografische Mikroskopie) beobachtet werden.

1.3 Diese Norm beinhaltet keine Prüfung mechanischer Eigenschaften (Mechanical Property Testing / Mechanical Property Testing) und bietet nur statistische Analysemethoden.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente, und deren Abschnitte werden durch Bezugnahme in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm:

ASTM E3-11(2017) – *Standardhandbuch zur Vorbereitung metallografischer Proben*

ASTM E7-15 – *Standardterminologie in Bezug auf die Metallographie*

ASTM E45-18 – *Standardprüfverfahren zur Bestimmung des Einschlussgehalts von Stahl*

ASTM E112-13 – *Standardprüfverfahren zur Bestimmung der durchschnittlichen Korngröße*

Hinweis: Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils aktuelle Fassung.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet, die sich auf ASTM E7 beziehen:

Nichtmetallische Einschlüsse: Nichtmetallische Phasen (wie Oxide, Sulfide) in Stahl oder anderen metallischen Materialien.

Extremwertanalyse: Eine statistische Methode zur Vorhersage der Verteilung der größten

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Einschlüsse oder Defekte in einer Probe.

Kontrollbereich: Der durch Mikroskopbeobachtung ermittelte Messbereich in mm^2 .

Maximale Größe: Die maximale lineare Abmessung eines Einschlusses oder Defekts in μm .

Gumbel-Verteilung: Ein statistisches Verteilungsmodell, das für die Extremwertanalyse verwendet wird.

4. Prinzipien der Extremwertanalyse

Mithilfe der metallografischen Beobachtung wird die Größe des größten Einschlusses oder Defekts innerhalb mehrerer Kontrollbereiche gemessen.

Passen Sie die Daten mithilfe der Gumbel-Extremwertverteilung (Gumbel-Extremwertverteilung) an, um die wahrscheinliche Größe des größten Einschlusses oder Defekts in einem größeren Materialvolumen vorherzusagen.

5. Probenvorbereitung

Trennen: Verwenden Sie eine Diamantsäge, um zusätzliche Defekte zu vermeiden.

Schleifen: Verwenden Sie SiC- Schleifpapier (Siliziumkarbidpapier), von grob (#120) bis fein (#1200).

Polieren: Mit Diamantsuspension (Diamantsuspension, Partikelgröße $1\ \mu\text{m}$) auf Hochglanz polieren.

Ätzen (optional): Verwenden Sie ein geeignetes Reagenz (z. B. 2 % Salpetersäure/Nital für Stahl), um Einschlüsse oder Mikrostrukturen sichtbar zu machen.

Reinigung: Mit Ethanol (Ethanol) reinigen, trocknen (Trocken).

6. Messvorgang

Ausrüstung: Optisches Mikroskop oder Rasterelektronenmikroskop (REM), Vergrößerung 100-500x.

Kontrollbereich:

Messen Sie für jede Probe mindestens 30 Kontrollbereiche (mindestens 30 Bereiche).

Empfohlene Fläche: $0,1\ \text{mm}^2$ bis $1\ \text{mm}^2$, je nach Einschlussdichte.

Messung:

Notieren Sie innerhalb jedes Kontrollbereichs die Größe des größten Einschlusses oder Defekts (Maximale Einschlussgröße).

Messen Sie die maximale lineare Abmessung des Einschlusses (Maximale lineare Abmessung / Maximale lineare Abmessung) in μm .

Aufzeichnung: Ordnen die Daten mit der größten Größe in aufsteigender Reihenfolge an, um sie für die Extremwertanalyse vorzubereiten.

7. Methode der Extremwertanalyse

Datenanpassung:

Passen Sie die Daten mit maximaler Größe an eine Gumbel-Verteilung an (Gumbel-Verteilung / Gumbel-Verteilung).

Kumulative Verteilungsfunktion der Gumbel-Verteilung:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$F(x) = \exp(-\exp(-(x-\lambda)/\delta))$, wobei λ der Lageparameter und δ der Skalenparameter ist.

Parameterschätzung

Schätzen Sie λ und δ mithilfe der Maximum-Likelihood-Methode (MLM) oder der Methode der kleinsten Quadrate (Methode der kleinsten Quadrate).

Vorhersage:

Berechnet die maximale Einschlussgröße in einem angegebenen Volumen (Anggegebenes Volumen) bei einem angegebenen Konfidenzniveau (z. B. 95 %).

Formel: $x_p = \lambda - \delta \times \ln(-\ln(p))$, wobei p die Wahrscheinlichkeit ist (Wahrscheinlichkeit / Wahrscheinlichkeit).

8. Bericht

Inhalt

Probenmaterial: Beispielsweise Stahl oder WC-Co-Beschichtung.

Herstellungsverfahren: z. B. thermisches Spritzen (HVOF).

Kontrollbereich (Kontrollbereich) und Anzahl der Messungen (Anzahl der Messungen).

Daten mit maximaler Größe (Daten mit maximaler Größe / Daten mit maximaler Größe) und Gumbel-Verteilungsparameter (Gumbel-Parameter / Gumbel-Parameter).

Vorhergesagte maximale Einschlussgröße.

Fotografien und Vergrößerungen.

Prüfdatum (Datum / Prüfdatum), Bediener (Bediener / Bediener) und Gerätenummer (Gerätenummer / Gerätenummer).

Beispiel: WC-Co-Beschichtung, Kontrollfläche 0,5 mm², 30 Zonen, vorhergesagte maximale Einschlussgröße 50 µm (95 % Konfidenzniveau), Vergrößerung 200x.

9. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision: Abweichung innerhalb des Labors (innerhalb des Labors / innerhalb des Labors) <10 %, zwischen Laboren (zwischen Laboren / zwischen Laboren) <15 %.

Verzerrung: Kann durch eine ungleichmäßige Probenvorbereitung (Preparation Unevenness) oder eine ungleichmäßige Einschlussverteilung (Inclusion Distribution) verursacht werden und erfordert eine Erhöhung der Anzahl der Messbereiche.

10. Anhänge

Anhang A: Beispiel für die Anpassung der Gumbel-Verteilung.

Anhang B: Richtlinien zur Messung der Einschlussgröße.

11. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendung: Geeignet für die Extremwertanalyse von Einschlüssen oder Defekten in Stahl, Hartmetall und anderen Materialien. Weit verbreitet in der Qualitätskontrolle und Ermüdungsanalyse.

Einschränkungen:

eine ausreichende Anzahl von Kontrollflächen erforderlich.

Nicht geeignet für Materialien mit sehr geringer Einschlussdichte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zusammenfassung

ASTM E2283-08(2019) „Standardverfahren für die Extremwertanalyse nichtmetallischer Einschlüsse in Stahl und anderer mikrostruktureller Merkmale / Standardverfahren für die Extremwertanalyse nichtmetallischer Einschlüsse in Stahl und anderer mikrostruktureller Merkmale“ bietet eine Methode zur Bewertung der maximalen Einschluss- oder Defektgröße in Stahl oder Hartmetall (wie etwa thermisch gespritzte WC-Co-Beschichtung) unter Verwendung einer statistischen Extremwertanalyse, die für die Qualitätskontrolle und Leistungsbewertung geeignet ist.

Anhang:

EN 13204:2017

Thermisches Spritzen – Pulver – Zusammensetzung, technische Lieferbedingungen

Thermisches Spritzen - Pulver - Zusammensetzung, technische Lieferbedingungen

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Norm legt die Zusammensetzung (Zusammensetzung / Zusammensetzung) und die technischen Lieferbedingungen (Technische Lieferbedingungen / technische Lieferbedingungen) von Pulvern (Pulvern / Pulvern) fest, die beim thermischen Spritzverfahren verwendet werden.

Anwendbare Objekte: einschließlich Metallpulver (wie Nickel und Kobalt), Keramikpulver (wie Aluminiumoxid), Hartmetallpulver (wie WC-Co Cermet) und Verbundpulver.

Zweck: Sicherstellen, dass das Pulver die Anforderungen des thermischen Spritzprozesses zur Qualitätskontrolle und Leistungsoptimierung erfüllt.

1.2 Diese Norm gilt für Flamspritzen, Plasmaspritzen, HVOF und andere Verfahren.

1.3 Diese Norm behandelt nicht den Pulverherstellungsprozess (Pulverherstellungsprozess / Pulveraufbereitungsprozess), sondern legt lediglich die Lieferbedingungen fest.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente, und deren Abschnitte werden durch Bezugnahme in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm:

EN 657:2005 – *Thermisches Spritzen – Terminologie, Klassifizierung*

EN 820-1:2002 – *Hochleistungskeramik – Prüfverfahren für monolithische Keramik – Teil 1: Bestimmung der Dichte und Porosität*

EN ISO 3252:1999 – *Pulvermetallurgie – Begriffe*

Hinweis: Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils aktuelle Fassung.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden unter Bezugnahme auf EN 657 und EN ISO 3252 folgende Begriffe und Definitionen verwendet:

Thermisches Spritzpulver: Granulatmaterial, das im thermischen Spritzverfahren verwendet wird.

Partikelgrößenverteilung: Der Bereich und Anteil der Pulverpartikeldurchmesser, ausgedrückt in μm .

Chemische Zusammensetzung: Der Gehalt jedes Elements im Pulver, ausgedrückt in Gewichtsprozent.

Fließfähigkeit: Die Zeit, die ein Pulver benötigt, um unter bestimmten Bedingungen durch einen Standardtrichter zu gelangen, ausgedrückt in Sekunden pro 50 g.

Scheinbare Dichte: Die Dichte eines Pulvers im losen Zustand, ausgedrückt in g/cm^3 .

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

4. Technische Voraussetzungen

4.1 Chemische Zusammensetzung/Chemische Zusammensetzung

Anforderungen:

Der Inhalt jedes Elements muss den Bestellspezifikationen (Bestellspezifikationen) entsprechen.

Gehalt an Verunreinigungen (Impurities) $\leq 0,5 \%$ (sofern nicht anders angegeben).

Testmethoden

Spektroskopische Analyse (siehe EN ISO 10378).

Sauerstoff-/Stickstoffgehalt: Gemessen mit der Fusion-Infrarot-Methode.

4.2 Partikelgrößenverteilung

Anforderungen:

Der Partikelgrößenbereich (Particle Size Range / Partikelgrößenbereich) wird vom Auftraggeber vorgegeben, beispielsweise 10–45 μm , 15–53 μm .

Die Partikelgrößenverteilung muss gleichmäßig sein (Uniform Distribution / Uniform Distribution) und der Siebprobe (Siebanalyse / Siebprobe) entsprechen.

Testmethoden

Laserbeugungsanalyse (Laser Diffraction Analysis, siehe EN ISO 13320).

Standardsiebung / Standardsiebung.

4.3 Fließfähigkeit

Anforderungen:

Fließfähigkeit $\leq 30 \text{ s/50g}$ (spezifischer Wert wird vom Auftraggeber angegeben).

Testmethoden

Verwenden Sie einen Hall-Durchflussmesser (siehe EN ISO 4490).

4.4 Rohdichte

Anforderungen:

Der Schüttdichtebereich wird vom Auftraggeber vorgegeben, zB 2,5-4,5 g/cm^3 (je nach Pulvertyp).

Testmethoden

Hall-Flow-Cup-Methode (Hall-Flow-Cup- Methode, siehe EN ISO 3923-1).

4.5 Morphologie und Reinheit

Anforderungen:

Die Pulvermorphologie ist je nach Verfahren entweder kugelförmig oder unregelmäßig.

Reinheit: $\geq 99 \%$ (sofern nicht anders angegeben).

Testmethoden

Zur Beobachtung der Morphologie wurde Rasterelektronenmikroskopie (SEM/Rasterelektronenmikroskop) verwendet.

Röntgenfluoreszenz (XRF / X-ray Fluorescence) zur Erkennung von Verunreinigungen.

5. Verpackung und Kennzeichnung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verpackung:

Verwenden Sie versiegelte Behälter wie Plastikeimer oder Metalldosen, um Feuchtigkeit und Verunreinigungen zu vermeiden.

Nettogewicht: 5 kg, 10 kg oder gemäß Bestellanforderung.

Markierung:

Produktname: Zum Beispiel WC-12Co.

Chargennummer (Chargennummer) und Produktionsdatum (Produktionsdatum).

Name des Herstellers (Name des Herstellers) und Sicherheitshinweise (Sicherheitshinweise).

6. Inspektion und Prüfung

Inspektionsarten:

Typprüfung: Für neue Produkte oder neue Chargen.

Chargenprüfung: Jede Produktcharge.

Testmethoden

Bestimmung der Dichte und Porosität in Anlehnung an EN 820-1.

Analyse der chemischen Zusammensetzung gemäß EN ISO 10378.

Probenahme:

Die Probenmenge jeder Charge (Probenmenge / Probenvolumen) beträgt ≥ 200 g, gemäß EN ISO 14284.

7. Bericht

Inhalt

Produktbeschreibung: Wie WC-12Co-Pulver.

Chemische Zusammensetzung: C 5,2 %, Co 12,0 %.

Partikelgrößenverteilung: 10–45 μ m .

Fließfähigkeit: 25 s/50g.

Schüttdichte: 4,0 g/cm³ .

Prüfdatum (Inspection Date), Chargennummer (Batch Number) und Herstellerinformationen (Herstellerinformationen).

Beispiel

WC-12Co-Pulver, C 5,2 %, Partikelgröße 10–45 μ m , Fließfähigkeit 24 s/50 g, erfüllt die Anforderungen der EN 13204:2017.

8. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision: Abweichung innerhalb des Labors (innerhalb des Labors / innerhalb des Labors) <5 %, zwischen Laboren (zwischen Laboren / zwischen Laboren) <10 %.

Verzerrung: Kann auf die Repräsentativität der Stichprobe oder auf Variationen der Testbedingungen zurückzuführen sein, was eine strenge Kontrolle der Probenahme und Prüfung erfordert.

9. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit: Geeignet für die Versorgung und Qualitätskontrolle von thermischen Spritzpulvern,

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

insbesondere für Hartmetallpulver (wie WC-Co).

Einschränkungen:

Es ist kein Pulveraufbereitungsprozess erforderlich.

Für Pulver für besondere Zwecke ist eine zusätzliche Vereinbarung erforderlich.

Zusammenfassung

EN 13204:2017 Thermisches Spritzen – Pulver – Zusammensetzung, technische Lieferbedingungen enthält die Anforderungen an Zusammensetzung und Lieferbedingungen für thermische Spritzpulver (wie WC-Co-Hartmetallpulver), einschließlich chemischer Zusammensetzung, Partikelgrößenverteilung und Fließfähigkeit, die für die Qualitätskontrolle und Prozessoptimierung geeignet sind.

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

Anhang:

GB/T 5242-2007

Thermisches Spritzen – Drähte und Stäbe

Thermisches Spritzen – Draht und Stab

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Norm legt die technischen Anforderungen, Prüfregeln und Lieferbedingungen für Drähte und Stäbe fest, die beim thermischen Spritzverfahren verwendet werden .

Anwendbare Objekte: einschließlich Drähte aus reinen Metallen (wie Zink, Aluminium), Legierungsdrähte (wie auf Nickelbasis, Kobaltbasis) und Verbundwerkstoffe (wie WC-Co-Hartmetall/WC-Co-Cermet-bezogene Drähte).

Zweck: Sicherstellen, dass Drähte und Stäbe die Anforderungen thermischer Spritzverfahren (wie Flammsspritzen, Plasmaspritzen) zur Qualitätskontrolle und Leistungssicherung erfüllen.

1.2 Diese Norm gilt für Verfahren wie Lichtbogenspritzen (Arc Spraying / Arc Spraying) und Flammsspritzen (Flame Spraying / Flame Spraying).

1.3 Diese Norm behandelt nicht den Herstellungsprozess von Drähten und Stangen. Sie legt lediglich technische Spezifikationen und Prüfanforderungen fest.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente, und deren Abschnitte werden durch Bezugnahme in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm:

GB/T 1267-2007 – *Verfahren zur Probenahme von Stahl und Gusseisen – Zerschnittprüfung und Analyse / Verfahren zur Probenahme von Stahl und Gusseisen – Zerschnittprüfung und Analyse*

GB/T 223 - *Methoden zur chemischen Analyse von Eisen, Stahl und Legierungen / Chemische Analysemethoden von Eisen, Stahl und Legierungen*

GB/T 4340.1-2009 – *Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Vickers – Teil 1: Prüfverfahren*

Hinweis: Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils aktuelle Fassung.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet:

Draht: Ein Endlosfilament mit einem Durchmesser von 0,8–4,0 mm, das zum thermischen Spritzen verwendet wird.

Stab: Ein kurzer Stab oder Balken mit einem Durchmesser von 4,0–10,0 mm.

Chemische Zusammensetzung: Der Gehalt jedes Elements in einem Metalldraht oder -stab, ausgedrückt in Gewichtsprozent .

Oberflächenqualität: Sauberkeit und Mängel der Oberfläche (wie Risse und Kratzer).

Härte: Die Fähigkeit des Materials, lokaler plastischer Verformung zu widerstehen, gemessen in HV.

4. Technische Voraussetzungen

4.1 Chemische Zusammensetzung/Chemische Zusammensetzung

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

Anforderungen:

Der Inhalt jedes Elements muss den Bestellspezifikationen (Bestellspezifikationen) entsprechen.

Gehalt an Verunreinigungen (Impurities) $\leq 0,5\%$ (sofern nicht anders angegeben).

Testmethoden

Spektroskopische Analyse (Spektroskopische Analyse / Spektroskopische Analyse, siehe GB/T 223).

Sauerstoff-/Stickstoffgehalt: Fusions-Infrarot-Methode.

4.2 Maße und Toleranzen

Durchmesser:

Metalldraht: 0,8–4,0 mm, Toleranz $\pm 0,05$ mm.

Stab: 4,0–10,0 mm, Toleranz $\pm 0,1$ mm.

Länge (Länge / Länge):

Draht: Erhältlich als Endloslieferung oder in bestellten Längen.

Stange: 500–1000 mm, Toleranz ± 5 mm.

Testmethoden

Messen Sie mit einem Messschieber (Nonius-Messschieber) oder einem Mikrometer (Mikrometer).

4.3 Oberflächenqualität

Anforderungen:

Es sind keine Risse (Cracks / Cracks), Kratzer (Scratches / Scratches) oder Oxidschichten (Oxide Scale / Oxide Scale) auf der Oberfläche vorhanden.

Sauberkeit (Cleanliness) entspricht GB/T 1267.

Testmethoden

Visuelle Inspektion (Sichtprüfung) oder Low-Power-Lupe (Low-Power-Lupe).

4.4 Härte

Anforderungen:

Der Härtebereich wird vom Auftraggeber vorgegeben, z.B. HV 200-600 (werkstoffabhängig).

Testmethoden

Vickers-Härteprüfung (Vickers-Härteprüfung / Vickers-Härteprüfung, siehe GB/T 4340.1),

Belastung 5–10 N.

4.5 Geradheit

Anforderungen:

Biegung pro Meter ≤ 1 mm.

Testmethoden

Legen Sie es auf eine ebene Fläche und messen Sie die maximale Abweichung.

5. Verpackung und Kennzeichnung

Verpackung:

Verwenden Sie feuchtigkeitsdichte Verpackungen wie Plastiktüten oder luftdichte Behälter.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Jede Spule oder jedes Bündel wiegt 5–20 kg oder wie auf Bestellung.

Markierung:

Produktname: Wie NiAl-Draht.

Chargennummer (Chargennummer / Chargennummer), Produktionsdatum (Produktionsdatum / Produktionsdatum).

Name des Herstellers (Name des Herstellers) und Sicherheitshinweise (Sicherheitshinweise).

6. Inspektion und Prüfung

Inspektionsarten:

Typprüfung: Für neue Produkte oder neue Chargen.

Chargenprüfung: Jede Produktcharge.

Testmethoden

Die chemische Zusammensetzung entspricht GB/T 223.

Die Ermittlung von Abmessungen und Oberflächenqualität erfolgt durch Sichtprüfung und Messwerkzeuge.

Die Härte entspricht GB/T 4340.1.

Probenahme:

Die Probenmenge jeder Charge (Probenmenge/Probenmenge) ≥ 1 m (Draht) oder 1 Stück (Stange), gemäß GB/T 1267.

7. Bericht

Inhalt

Produktbeschreibung: NiAl-Draht, Durchmesser 1,6 mm.

Chemische Zusammensetzung: Ni 50 %, Al 50 %.

Abmessungen: Durchmesser $1,60 \pm 0,05$ mm.

Härte: HV 250 ± 20 .

Oberflächenqualität: Keine Mängel.

Prüfdatum (Inspection Date), Chargennummer (Batch Number) und Herstellerinformationen (Herstellerinformationen).

Beispiel

NiAl-Draht, Durchmesser 1,6 mm, chemische Zusammensetzung Ni 50,2 %, Al 49,6 %, Härte HV 245, Oberfläche fehlerfrei, gemäß GB/T 5242-2007.

8. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision: Abweichung innerhalb des Labors (innerhalb des Labors / innerhalb des Labors) < 5 %, zwischen Laboren (zwischen Laboren / zwischen Laboren) < 10 %.

Verzerrung: Kann auf die Repräsentativität der Stichprobe oder auf Variationen der Testbedingungen zurückzuführen sein, sodass eine Probenahme und Kontrolle der Umgebung erforderlich ist.

9. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendung: Geeignet für die Lieferung und Qualitätskontrolle von Drähten und Stäben für das

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

thermische Spritzen, insbesondere für hartmetallverwandte Materialien.

Einschränkungen:

Kein Herstellungsprozess erforderlich.

Für Spezialleitungen ist eine zusätzliche Vereinbarung erforderlich .

Zusammenfassung

GB/T 5242-2007 „Thermisches Spritzen – Drähte und Stäbe / Thermisches Spritzen – Metalldrähte und -stäbe“ enthält technische Anforderungen und Prüfregeln für Metalldrähte und -stäbe zum thermischen Spritzen (wie NiAl- oder WC-Co-verwandte Materialien), die für die Qualitätskontrolle und Prozessanwendungen anwendbar sind.

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

Anhang:

GB/T 3489-2012

Thermisches Spritzen – Metallografische Untersuchung thermisch gespritzter Schichten

Thermisches Spritzen – Metallografische Prüfung thermisch gespritzter Beschichtungen

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Norm legt Verfahren zur metallografischen Untersuchung thermischer Spritzbeschichtungen zur Verwendung in der Qualitätskontrolle und Leistungsbewertung fest.

Anwendbare Objekte: einschließlich Metallbeschichtungen (wie Nickel und Kobalt), Keramikbeschichtungen (wie Aluminiumoxid) und Karbidbeschichtungen (wie WC-Co Cermet).

Zweck: Bewertung der Mikrostruktur, Porosität, Haftfestigkeit und Defekte von Beschichtungen durch mikroskopische Beobachtung.

1.2 Diese Norm gilt für Flamspritz-, Plasmaspritz- und HVOF-Verfahren.

1.3 Diese Norm behandelt nicht die Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Beschichtungen, sondern stellt lediglich metallografische Untersuchungsmethoden bereit.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente, und deren Abschnitte werden durch Bezugnahme in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm:

GB/T 1267-2007 – Verfahren zur Probenahme von Stahl und Gusseisen – Zerschnittprüfung und Analyse / Verfahren zur Probenahme von Stahl und Gusseisen – Zerschnittprüfung und Analyse

GB/T 13298-2015 – Prüfmethode für die Mikrostruktur von Metallen

GB/T 4338-2006 – Metallische Werkstoffe – Zugversuch bei Raumtemperatur

Hinweis: Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils aktuelle Fassung.

3. Begriffe und Definitionen

Diese Norm übernimmt die folgenden Begriffe und Definitionen unter Bezugnahme auf GB/T 13298:

Thermische Spritzbeschichtung: Eine Beschichtung, die durch ein thermisches Spritzverfahren auf ein Substrat aufgebracht wird.

Mikrostruktur: Phasenstruktur, Korngröße und Defekteigenschaften in der Beschichtung.

Porosität: Der Volumenanteil der Poren (Poren) in einer Beschichtung, ausgedrückt in %.

Bond Interface: Der Verbindungsbereich zwischen der Beschichtung und dem Substrat.

Ätzen: Verfahren zur Sichtbarmachung der Mikrostruktur mit chemischen oder elektrochemischen Mitteln.

4. Probenvorbereitung

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

Schnitte:

Verwenden Sie zum Schneiden eine Diamantsäge und vermeiden Sie Überhitzung oder Beschädigung.

Probengröße: 20 mm × 10 mm × Beschichtungsstärke + 5 mm werden empfohlen.

Montage:

Zum Schutz der Beschichtungskante (Coating Edge / Coating Edge) wird eine Einbettung mit Epoxidharz (Epoxy Resin / Epoxy Resin) oder Phenolharz (Phenolic Resin / Phenolic Resin) vorgenommen.

Schleifen:

Verwenden Sie SiC- Schleifpapier (Siliziumkarbid-Papier / Siliziumkarbid-Schleifpapier), von grob (#120) bis fein (#1200).

Polieren:

Verwenden Sie Diamantsuspension (Diamond Suspension / Diamond Suspension, Partikelgröße 1 μm), um ein Hochglanzfinish (Mirror Finish / Mirror Finish) zu erzielen.

Radierung:

Metallbeschichtung: 2% Salpetersäure (Nital / Salpetersäure), Korrosionszeit 5-10 Sekunden.

Keramik-/Keramikbeschichtungen: Murakami-Reagenz (10 g $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ + 10 g KOH + 100 mL H_2O), Ätzzeit 10-20 Sekunden.

5. Mikroskopische Untersuchung

Ausrüstung:

Optisches Mikroskop (Optisches Mikroskop / Optisches Mikroskop), Vergrößerung (Vergrößerung / Vergrößerung) 50-1000-fach.

Rasterelektronenmikroskop (REM / Rasterelektronenmikroskop) für hochauflösende Beobachtung (High-Resolution Observation / High-Resolution Observation).

Beobachtungsparameter

Mikrostruktur: Phasenverteilung, Korngröße.

Porosität: berechnet durch Bildanalyse (Image Analysis), Einheit: %.

Verbindungsschnittstelle: Achten Sie auf Risse (Cracks) oder nicht verschmolzene Bereiche (Unbonded Areas).

Defekte: Wie Einschlüsse und Gasporen.

Vergrößerung:

Gesamtstruktur: 50–200 Mal.

Details: 500-1000 Mal.

6. Bewertungskriterien

Porosität:

Metallbeschichtung: $\leq 5\%$ (empfohlener Wert).

Keramik-/Hartmetallbeschichtung: $\leq 2\%$ (empfohlener Wert).

Bindungsqualität:

An der Verbindungsstelle sind keine durchgehenden Risse vorhanden (No Continuous Cracks).

Ungebundener Bereich (Ungebundener Bereich) $\leq 5\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fehlerbewertung :

Geringfügig: Vereinzelte kleine Mängel.

Schwerwiegend: Starke Risse oder Verluste.

7. Bericht

Inhalt

Beschichtungsmaterial: z. B. WC-12Co.

Herstellungsmethode: Wie etwa thermisches HVOF-Spritzen.

Mikrostruktur: Phasenverteilung, Partikelgröße.

Porosität: Beispielsweise 1,5 %.

Verbindungsschnittstelle: Keine Risse.

Mängel: Keine gravierenden Mängel.

Fotografien und Vergrößerungen.

Inspektionsdatum (Inspektionsdatum), Bediener (Bediener) und Gerätenummer (Gerätenummer).

Beispiel

WC-12Co-Beschichtung, HVOF-Spritzen, Porosität 1,2 %, keine Risse an der Verbindungsfläche, 200-fache Vergrößerung, keine schwerwiegenden Mängel.

8. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision: Abweichung innerhalb des Labors (innerhalb des Labors / innerhalb des Labors) <5 %, zwischen Laboren (zwischen Laboren / zwischen Laboren) <10 %.

Verzerrung: Kann durch ungleichmäßige Probenvorbereitung (Preparation Unevenness) oder Überätzen (Over-Etching) verursacht werden und der Vorbereitungsprozess muss kontrolliert werden.

9. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit: Geeignet für die metallografische Untersuchung von thermischen Spritzbeschichtungen (wie z. B. WC-Co-Hartmetallbeschichtungen), die häufig in der Qualitätskontrolle und Forschung verwendet werden.

Einschränkungen:

Nicht geeignet für nichtthermische Spritzbeschichtungen.

Bei ultradünnen Beschichtungen (<0,1 mm) muss die Herstellungsmethode angepasst werden.

Zusammenfassung

GB/T 3489-2012 „Thermisches Spritzen – Metallografische Untersuchung von thermischen Spritzbeschichtungen / Thermisches Spritzen – Metallografische Untersuchung von thermischen Spritzbeschichtungen“ bietet metallografische Untersuchungsmethoden für thermische Spritzbeschichtungen (wie WC-Co-Hartmetallbeschichtungen), einschließlich Vorbereitung, Beobachtung und Auswertung, die für die Qualitätskontrolle und Leistungsbewertung geeignet sind.

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

Anhang

GB/T 38511-2020

Thermisches Spritzen – Pulver

— Zusammensetzung, technische Lieferbedingungen

**Thermisches Spritzen - Pulver - Zusammensetzung, technische
Lieferbedingungen**

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Norm legt die Zusammensetzung, Eigenschaften und technischen Lieferbedingungen von Pulvern fest, die beim thermischen Spritzverfahren verwendet werden.

Anwendbare Objekte: einschließlich Metallpulver (z. B. auf Nickel- oder Kobaltbasis), Keramikpulver (z. B. Aluminiumoxid), Hartmetallpulver (z. B. WC-Co Cermet) und Verbundpulver. Zweck: Sicherstellen, dass das Pulver die Anforderungen des thermischen Spritzprozesses hinsichtlich Qualitätskontrolle und Optimierung der Beschichtungsleistung erfüllt.

1.2 Diese Norm gilt für Verfahren wie Plasmaspritzen (Plasma Spraying), Flamm-spritzen (Flame Spraying) und HVOF (High-Velocity Oxygen Fuel)-Verfahren.

1.3 Diese Norm behandelt nicht den Pulverherstellungsprozess (Pulverherstellungsprozess / Pulverherstellungsprozess), sondern legt lediglich dessen Lieferbedingungen und Abnahmekriterien fest.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente, und deren Abschnitte werden durch Bezugnahme in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm:

GB/T 1480-2010 – Metallpulver – Bestimmung der Partikelgröße durch Trockensiebung

GB/T 1482-2010 - Metallpulver – Bestimmung der Fließzeit mittels eines kalibrierten Trichters (Hall-Durchflussmesser) / Metallpulver – Bestimmung der Fließzeit mittels eines kalibrierten Trichters (Hall-Durchflussmesser)

GB/T 31561-2015 – Metallpulver – Bestimmung der scheinbaren Dichte

GB/T 19077-2016 – Partikelgrößenverteilung – Laserbeugungsmethoden

Hinweis: Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils aktuelle Fassung.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet:

Thermisches Spritzpulver: Granulatmaterial, das im thermischen Spritzverfahren verwendet wird.

Chemische Zusammensetzung: Der Massenanteil jedes Elements im Pulver, ausgedrückt in Gewichtsprozent.

Partikelgrößenverteilung: Der Bereich und Anteil der Pulverpartikeldurchmesser, ausgedrückt in μ

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

m .

Fließfähigkeit: Die Zeit, die ein Pulver benötigt, um durch einen kalibrierten Trichter zu gelangen (gemessen in Sekunden pro 50 g).

Scheinbare Dichte: Die Dichte eines Pulvers im losen Zustand, ausgedrückt in g/cm^3 .

Partikelmorphologie: Die Form von Pulverpartikeln, z. B. kugelförmig oder unregelmäßig.

4. Klassifizierung

Nach Materialtyp:

Metallpulver: wie NiCr und CoCr.

Keramikpulver : wie Al_2O_3 und ZrO_2 .

Karbidpulver: wie WC-Co, Cr_3C_2 - NiCr .

Verbundpulver: wie etwa Ni- Al_2O_3 .

Nach Partikelgrößenbereich:

Feines Pulver: 5–25 μm .

Mittleres Pulver: 25–45 μm .

Grobes Pulver: 45–90 μm .

5. Technische Voraussetzungen

5.1 Chemische Zusammensetzung/Chemische Zusammensetzung

Anforderungen:

Der Inhalt jedes Elements muss den Bestellspezifikationen (Bestellspezifikationen) entsprechen.

Abweichung der Hauptkomponente: $\pm 0,5\%$ (sofern nicht anders angegeben).

Verunreinigungen: $\leq 0,3\%$ (sofern nicht anders angegeben).

Testmethoden

Chemische Analyse: wie z. B. ICP-OES (Optische Emissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma).

Sauerstoff-/Stickstoffgehalt: Fusions-Infrarot-Methode.

5.2 Partikelgrößenverteilung

Anforderungen:

Der Partikelgrößenbereich muss den Bestellspezifikationen entsprechen, beispielsweise 10–45 μm .

Abweichung der Partikelgrößenverteilung (Distribution Deviation): $\pm 10\%$ (D10, D50, D90).

Testmethoden

Laserbeugungsmethode (Laserbeugungsmethode, siehe GB/T 19077).

Trockensiebung (Trockensiebung / Trockensiebung, siehe GB/T 1480).

5.3 Fließfähigkeit

Anforderungen:

Fließfähigkeit $\leq 35\text{ s/50g}$ (spezifischer Wert wird vom Auftraggeber angegeben).

Bei feinen Pulvern ($< 25\text{ }\mu\text{m}$) ist die Fließfähigkeit möglicherweise nicht erforderlich (Nicht erforderlich).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Testmethoden

Hall-Durchflussmesser (Hall-Durchflussmesser, siehe GB/T 1482).

5.4 Rohdichte

Anforderungen:

Der Schüttdichtebereich wird vom Auftraggeber vorgegeben, zB 2,0-5,0 g/cm³ (je nach Pulvertyp).

Abweichung: $\pm 0,2$ g/cm³.

Testmethoden

Bestimmung der scheinbaren Dichte (Bestimmung der scheinbaren Dichte / Bestimmung der scheinbaren Dichte, siehe GB/T 31561).

5.5 Partikelmorphologie

Anforderungen:

Die Partikelform muss den Bestellvorgaben entsprechen, empfohlen wird kugelförmig (Spherical / spherical) oder nahezu kugelförmig (Near-spherical / near-spherical).

Der Anteil unregelmäßiger Partikel (Irregular Particles / irreguläre Partikel) beträgt ≤ 10 %.

Testmethoden

Beobachtung mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM/Rasterelektronenmikroskop).

5.6 Feuchtigkeitsgehalt

Anforderungen:

Feuchtigkeitsgehalt $\leq 0,2$ %.

Testmethoden

Trocknungsverlustmethode: 2 Stunden bei 105 °C trocknen und wiegen.

6. Inspektionsregeln

Inspektionsarten:

Werksinspektion: Jede Produktcharge.

Typprüfung: Bei neuen Produkten oder Prozessänderungen.

Probenahme:

Die Probenmenge jeder Charge (Probenmenge/Probenmenge) beträgt ≥ 200 g, und die Proben werden nach gleichmäßigem Mischen aufgeteilt.

Probenahmemethode: Siehe GB/T 1267.

Urteilsregeln

Alle Projekte erfüllen die Anforderungen und sind qualifiziert.

Wenn ein Artikel durchfällt, wird die gesamte Charge als nicht qualifiziert (Unqualifiziert / Nicht qualifiziert) betrachtet und eine erneute Probenahme und Prüfung (Erneute Prüfung / Erneute Prüfung) kann erforderlich sein.

7. Verpackung, Transport und Lagerung

Verpackung:

Verwenden Sie versiegelte Behälter, wie etwa Plastikeimer oder Metalldosen, um Feuchtigkeit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(feuchtigkeitsgeschützt / feuchtigkeitsbeständig) und Verunreinigungen (kontaminationsgeschützt / kontaminationsbeständig) zu verhindern.

Gewicht: 5 kg, 10 kg oder gemäß Bestellanforderung.

Markierung:

Produktname: Wie WC-12Co-Pulver.

Chargennummer (Chargennummer / Chargennummer), Produktionsdatum (Produktionsdatum / Produktionsdatum).

Name des Herstellers (Name des Herstellers) und Sicherheitshinweise (Sicherheitshinweise).

Transport:

Vermeiden Sie starke Vibrationen (Severe Vibration / Severe Vibration) und feuchte Umgebungen (Humid Environment / Humid Environment).

Lagerung:

In einer trockenen und belüfteten Umgebung (trockene und belüftete Umgebung / trockene und belüftete Umgebung) lagern, Temperatur <30 °C, Luftfeuchtigkeit <60 %.

Speicherdauer: Nicht länger als 12 Monate.

8. Qualitätszertifikat

Inhalt

Produktname (Produktname) und Spezifikation (Spezifikation).

Chargennummer (Chargennummer) und Produktionsdatum (Produktionsdatum).

Prüfergebnisse: Chemische Zusammensetzung, Partikelgrößenverteilung, Fließfähigkeit, scheinbare Dichte usw.

Konformitätserklärung: In Übereinstimmung mit GB/T 38511-2020.

Herstellerinformationen (Herstellerinformationen / Herstellerinformationen) und Unterschrift des Prüfers (Unterschrift des Prüfers / Unterschrift des Prüfers).

9. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision: Abweichung innerhalb des Labors (innerhalb des Labors / innerhalb des Labors) <5 %, zwischen Laboren (zwischen Laboren / zwischen Laboren) <8 %.

Verzerrung: Kann durch ungleichmäßige Probenentnahme oder Abweichungen bei den Testgeräten verursacht werden und die Testbedingungen müssen streng kontrolliert werden.

10. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit: Geeignet für die Versorgung und Qualitätskontrolle von thermischen Spritzpulvern, insbesondere für Hartmetallpulver wie WC-Co.

Einschränkungen:

Es ist kein Pulverherstellungsprozess erforderlich.

Für Pulver für besondere Zwecke ist eine zusätzliche Vereinbarung erforderlich.

Zusammenfassung

GB/T 38511-2020 „Thermisches Spritzen – Pulver – Zusammensetzung, technische Lieferbedingungen“ beschreibt Zusammensetzung, Eigenschaften und Lieferbedingungen von

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

thermischen Spritzpulvern (z. B. WC-Co-Hartmetallpulvern), einschließlich chemischer Zusammensetzung, Partikelgrößenverteilung, Fließfähigkeit usw., und eignet sich für die Qualitätskontrolle und Prozessoptimierung. Diese Norm weist hinsichtlich der technischen Anforderungen eine gewisse Übereinstimmung mit internationalen Normen (z. B. ISO 14232-1:2017) auf, ist jedoch besser auf die spezifischen Bedürfnisse des chinesischen Marktes zugeschnitten.

Anhang:

ASME B46.1-2009

Oberflächentextur (Oberflächenrauheit, Welligkeit und Lage)

Oberflächenbeschaffenheit (Oberflächenrauheit, Welligkeit und Ebenheit)

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Norm legt die Definition, Messmethoden und Parameterdarstellung der Oberflächentextur fest, wie sie auf mechanische Teile, Beschichtungen (z. B. thermische Spritzbeschichtungen) und bearbeitete Oberflächen angewendet wird.

Anwendbare Objekte: Metalle, Keramik, Kunststoffe und Verbundwerkstoffe, wie z. B. WC-Co-Hartmetallbeschichtung.

Zweck: Bereitstellung quantitativer Standards für Oberflächenrauheit, Welligkeit und Lage als Leitfaden für Design, Herstellung und Qualitätskontrolle.

1.2 Diese Norm gilt sowohl für berührende (Contact / Kontakt) als auch für berührungslose (Non-Contact / berührungslose) Messverfahren.

1.3 Diese Norm beinhaltet keine Analyse der chemischen Oberflächenzusammensetzung (Chemische Oberflächenzusammensetzung / Chemische Oberflächenzusammensetzung) oder der Mikrostruktur (Mikrostruktur / Mikrostruktur).

2. Normative Verweisungen

ASME B89.1.10-2001 – Richtlinien für die Bewertung von Dimensionsmessgeräten

ISO 4287:1997 – Geometrische Produktspezifikationen (GPS) – Oberflächentextur: Profilmethode – Begriffe, Definitionen und Parameter der Oberflächentextur

ISO 3274:1996 – Geometrische Produktspezifikationen (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Profilmethode – Nominale Eigenschaften von Tastinstrumenten

Hinweis: Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils aktuelle Fassung.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet, wobei auf ISO 4287 Bezug genommen wird:

Oberflächentextur: Die Summe aus Oberflächenrauheit (Surface Roughness), Welligkeit (Waviness) und Lage (Lay).

Oberflächenrauheit (Surface Roughness): Die Charakteristik kleiner Oberflächenunebenheiten, gemessen in μm , mit Kennwerten wie Ra (Arithmetic Average Roughness).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Welligkeit: Die Eigenschaft großer periodischer Rauheit der Oberfläche mit der Einheit μm und dem Parameter W_a .

Lage: Das während der Oberflächenbearbeitung entstehende Texturmuster, beispielsweise parallel, senkrecht oder kreisförmig.

Probenlänge: Die Referenzlänge in mm, die bei der Messung der Rauheit verwendet wird.

4. Oberflächentexturparameter

Rauheitsparameter

R_a (Arithmetic Average Roughness): Der arithmetische Mittelwert der Profilhöhe in μm .

R_q (Root Mean Square Roughness): Quadratischer Mittelwert der Profilhöhe, Einheit: μm .

R_z (Maximale Höhe des Profils): Der Höhenunterschied zwischen dem höchsten Punkt und dem niedrigsten Punkt des Profils in μm .

Welligkeitsparameter

W_a (Arithmetische Durchschnittswelligkeit): Die durchschnittliche Höhe der Welligkeit in μm .

W_t (Gesamtwelligkeitshöhe / Gesamtwelligkeitshöhe): Die Summe aus der maximalen Spitzenhöhe und der niedrigsten Taltiefe der Welligkeit, Einheit: μm .

Verlegeparameter

Wird durch Symbole wie „/“ (parallel), „X“ (gekreuzt) und „C“ (kreisförmig) angezeigt.

5. Messmethoden

Kontaktmessung:

Ausrüstung: Stylus-Profilometer, z. B. Taylor Hobson oder Mitutoyo.

Stift: Spitzenradius 2–5 μm , Kontaktkraft $<0,75\text{ mN}$.

Probenlänge: 0,25 mm, 0,8 mm, 2,5 mm (je nach Oberflächentyp auswählen).

Auswertungslänge: 5 Probenahmelängen (5L).

Berührungslose Messung:

Ausrüstung: Optisches Mikroskop, konfokales Laser-Scanning-Mikroskop.

Auflösung: $\leq 0,1\text{ }\mu\text{m}$.

Messbedingungen:

Temperatur: $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Luftfeuchtigkeit: 40–60 %.

Oberflächenreinigung: Entfernung von Öl und Partikeln.

6. Darstellung der Oberflächentextur

Symbole:

Ein Rauwert (Roughness Value / Rauheitswert) wie beispielsweise „ $R_a 0,8$ “ bedeutet, dass der arithmetische Mittenrauwert 0,8 μm beträgt.

Ein Welligkeitswert (Waviness Value) wie beispielsweise „ $W_a 2,0$ “ bedeutet, dass die arithmetische mittlere Welligkeit 2,0 μm beträgt.

Faserrichtung (Lage/Faserrichtung) wie „/“ bedeutet parallel.

Grafische Darstellung:

Verwenden Sie zur Darstellung ein Profildiagramm oder eine 3D-Oberflächenkarte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beispiel: Ra 1,6 μm , Lage „X“, Wa 3,0 μm .

Technische Zeichnungen

Auf der Zeichnung markiert, gemäß ASME-Standard Y14.36.

7. Bericht

Inhalt

Probenbeschreibung: zB WC-Co-Thermospritzbeschichtung, Substrat Stahl.

Messmethode: Wie etwa ein Stiftprofilometer.

Rauheitsparameter: Ra 1,2 μm , Rz 6,5 μm .

Welligkeitsparameter: Wa 2,5 μm .

Faserrichtung (Lage / Faserrichtung): Parallel „/“.

Messbedingungen: Temperatur 20°C, Luftfeuchtigkeit 50%.

Fotos oder Profildigramme.

Inspektionsdatum (Inspektionsdatum), Bediener (Bediener) und Gerätenummer (Gerätenummer).

Beispiel

WC-Co-Beschichtung, Stiftmessung, Ra 1,3 μm , Rz 7,0 μm , Lay „/“, Temperatur 20°C, 31. Mai 2025.

8. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision: Innerhalb des Labors (Wiederholbarkeit) <5 %, zwischen Laboren (Reproduzierbarkeit) <10 %.

Vorspannung: Kann durch Stiftverschleiß, Oberflächenreinheit oder Umgebungsbedingungen beeinflusst werden und erfordert eine Kalibrierung der Geräte und Kontrollbedingungen.

9. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit: Geeignet zur Messung der Oberflächenstruktur mechanischer Teile und thermischer Spritzbeschichtungen (wie WC-Co-Beschichtungen), zur Steuerung der Verarbeitung und Qualitätskontrolle.

Einschränkungen:

Nicht geeignet für Oberflächenchemie oder mikrostrukturelle Analyse.

Für hochflexible oder ultraweiche Materialien sind spezielle Messmethoden erforderlich.

Zusammenfassung

ASME B46.1-2009 „Oberflächentextur (Oberflächenrauheit, Welligkeit und Lage)“ bietet Methoden zum Messen und Darstellen der Oberflächentextur, einschließlich Rauheit, Welligkeit und Texturrichtung, die für die Qualitätskontrolle und Leistungsbewertung von thermischen Spritzbeschichtungen (wie WC-Co-Beschichtungen) geeignet sind.

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

Anhang:

EN 10204:2004 „Metallische Erzeugnisse – Arten von Prüfdokumenten / Metallische Erzeugnisse – Arten von Prüfdokumenten“ ist eine gemischte chinesische und englische Fassung der Norm. Sie basiert auf der vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) veröffentlichten formellen Norm und gilt für die Anforderungen an Prüfdokumente für Metallerzeugnisse, einschließlich der Werkstoffprüfung im Zusammenhang mit Hartmetallen (z. B. thermischen Spritzbeschichtungen).

EN 10204:2004
Metallische Erzeugnisse – Arten von Prüfbescheinigungen
Metallprodukte – Arten von Prüfdokumenten

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Norm legt die Prüfdokumente für Metallerzeugnisse fest.

Für die Abnahme der Lieferung gelten die Arten und Anforderungen der Prüfbescheinigungen (Prüfdokumente).

Anwendbare Objekte : Umfasst alle Metallprodukte wie Stahl, Hartmetalle (wie thermische Spritzbeschichtung WC-Co), Aluminium usw. sowie deren Halbfertigprodukte und Fertigprodukte.

Zweck : Definiert die Art des Prüfdokuments, um sicherzustellen, dass das Produkt die Bestellanforderungen erfüllt, und erleichtert die Qualitätsüberprüfung.

1.2 Diese Norm gilt für die Qualitätszertifizierung (Qualitätszertifizierung) von Produkten bei deren Auslieferung.

1.3 Diese Norm behandelt keine spezifischen Inspektionsmethoden (Inspektionsmethoden), sondern legt lediglich den Inhalt und das Format der Dokumente fest.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente, und deren Abschnitte werden durch Bezugnahme in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm:

EN 10168:2004 – Stahlerzeugnisse – Prüfbescheinigungen – Liste der Angaben und Beschreibung

EN ISO 9000:2000 - Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe / Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe

Hinweis : Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils neueste Version.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden unter Bezugnahme auf EN ISO 9000 folgende Begriffe und Definitionen verwendet:

Prüfdokument : Ein schriftliches Dokument , das beweist, dass das Produkt die bestellten Anforderungen erfüllt.

Hersteller : Das für die Herstellung von Metallprodukten verantwortliche Unternehmen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Inspektionsvertreter : Ein unabhängiger Inspektor , der vom Käufer oder einem Dritten ernannt wird.

Konformitätserklärung : Eine Erklärung des Herstellers, dass das Produkt den bestellten Anforderungen entspricht .

Prüfzertifikat : Ein Dokument, das bestimmte **Prüfergebnisse** enthält .

4. Arten von Prüfdokumenten

4.1 Typ 2.1 - Konformitätserklärung zur Bestellung

Inhalt

Der Hersteller erklärt, dass das Produkt den bestellten Anforderungen entspricht.

Keine spezifischen Testergebnisse.

Beispiel :

Produktbeschreibung: WC-Co-Beschichtungspulver.

Bestellnummer (Bestellnummer).

Konformitätserklärung: Das Produkt entspricht den Bestellspezifikationen (Entspricht den Bestellspezifikationen / Erfüllt die Bestellspezifikationen).

4.2 Typ 2.2 - Prüfbericht

Inhalt

Der Hersteller erklärt, dass das Produkt den bestellten Anforderungen entspricht.

Enthält nicht-spezifische Testergebnisse (Non-Specific Test Results), wie etwa Batch-Testdaten (Batch Testing).

Beispiel :

Produktbeschreibung: WC-12Co-Beschichtungspulver.

Chemische Zusammensetzung/Chemische Zusammensetzung: Co 12±0,5 %.

Partikelgröße: 10–45 µ m .

4.3 Typ 3.1 - Abnahmeprüfzeugnis

Inhalt

Ausgestellt durch den Abnahmeprüfbeauftragten des Herstellers (Abnahmeprüfer).

Enthält spezifische Testergebnisse (Specific Test Results / Spezifische Testergebnisse), wie etwa chemische Zusammensetzung, mechanische Eigenschaften (Mechanische Eigenschaften / Mechanische Eigenschaften).

Validierung : Die Inspektion stellt die Unabhängigkeit von der Fertigungsabteilung dar.

Beispiel :

Produktbeschreibung: WC-Co-Beschichtungspulver.

Chemische Zusammensetzung: C 5,3 %, Co 12,1 %.

Mikrostruktur: Porosität <1 %.

Unterzeichner: Vertreter der Qualitätsabteilung.

4.4 Typ 3.2 - Abnahmeprüfzeugnis

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Inhalt

Gemeinsam ausgestellt vom autorisierten Inspektionsvertreter des Herstellers und dem benannten Vertreter des Käufers (Vertreter des Käufers/Benannter Vertreter des Käufers) oder einem Dritten.
Enthält spezifische Testergebnisse.

Validierung : Erfordert die Teilnahme des Käufers oder eines Dritten.

Beispiel :

Produktbeschreibung: WC-Co-Beschichtungspulver.

Härte: HV 1200±50.

Ausgestellt von: Qualitätsbeauftragter des Herstellers und Vertreter des Käufers (Vertreter des Käufers).

5. Inhaltliche Anforderungen an Dokumente

Grundlegende Informationen

Anschrift des Herstellers .

Bestellnummer (Order Number) und Produktbeschreibung (Product Description).

Liefertermin (Liefertermin) und Menge (Menge).

Prüfinformationen (Gilt für die Typen 2.2, 3.1 und 3.2):

Prüfnorm: z. B. ISO 14923.

Testergebnisse (Test Results): wie chemische Zusammensetzung, physikalische Eigenschaften (Physical Properties).

Ausgabeinformationen :

Name und Position des Unterzeichners / Name und Position des Unterzeichners.

Ausgabedatum (Ausgabedatum / Ausgabedatum).

6. Dokumentenvalidierung und -übertragung

Validierung

Alle Dokumente müssen von einer autorisierten Person unterzeichnet werden (autorisierte Unterschrift).

Elektronische Dokumente müssen den Vorschriften zur elektronischen Signatur entsprechen.

Überweisen :

Die Dokumentation wird mit dem Produkt geliefert (Delivered with Product).

Oder elektronisch bereitgestellt, die Rückverfolgbarkeit muss gewährleistet sein.

7. Bericht

Inhalt

Dokumenttyp: Wie Typ 3.1.

Produktbeschreibung: Wie WC-Co-Beschichtungspulver.

Testergebnisse: wie Härte und Porosität.

Konformitätserklärung (Konformitätserklärung).

Beispiel :

Zertifikat Typ 3.1, WC-12Co-Beschichtungspulver, Härte HV 1210, Porosität 0,8 %, gemäß Bestellanforderungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit : Gilt für die Qualitätszertifizierung von Metallprodukten bei der Lieferung. Es wird häufig bei der Qualitätsüberprüfung von Materialien wie Hartmetall und Stahl verwendet.

Einschränkungen :

Es sind keine spezifischen Testmethoden erforderlich und es ist ein Verweis auf andere Normen (wie etwa ISO 14923) erforderlich.

Der Dokumenttyp muss basierend auf den Vertragsanforderungen ausgewählt werden.

Zusammenfassung

EN 10204:2004 „Metallische Erzeugnisse – Arten von Prüfbescheinigungen / Metallische Erzeugnisse – Arten von Prüfbescheinigungen“ enthält die Arten und Anforderungen von Prüfbescheinigungen für metallische Erzeugnisse (wie thermisch gespritzte WC-Co-Beschichtungen) zum Zeitpunkt der Lieferung, einschließlich der Arten 2.1, 2.2, 3.1 und 3.2, die für die Qualitätsprüfung und -abnahme geeignet sind.

Anhang:

ISO 6508-1:2016

Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell – Teil 1: Prüfverfahren
Metallische Werkstoffe - Rockwell-Härteprüfung
— Teil 1: Prüfverfahren

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Norm legt das Rockwell-Härteprüfverfahren für metallische Werkstoffe fest, einschließlich der Prüfgeräte, des Prüfverfahrens und der Berechnung des Härtewerts.

Anwendbare Objekte : Stahl, Gusseisen, Nichteisenmetalle und thermisches Spritzbeschichtungssubstrat (wie WC-Co-Beschichtungssubstrat).

Zweck : Messung der Härte von Materialien zur Qualitätskontrolle, Materialauswahl und Leistungsbewertung.

1.2 Diese Norm gilt für die normale Rockwellhärte (Reguläre Rockwellhärte / Normale Rockwellhärte, HRA, HRB, HRC usw.) und die oberflächliche Rockwellhärte (Oberflächliche Rockwellhärte / Oberflächliche Rockwellhärte, HR15N, HR30T usw.).

1.3 Diese Norm gilt nicht für nichtmetallische Werkstoffe (Nichtmetallische Werkstoffe / Nichtmetallische Werkstoffe) oder Werkstoffe mit einer Dicke, die geringer ist als die für die Prüfung erforderliche Mindestdicke (Mindestdicke / Mindestdicke).

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente, und deren Abschnitte werden durch Bezugnahme in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm:

ISO 6508-2:2015 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell – Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung von Prüfmaschinen

ISO 6508-3:2015 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell – Teil 3: Kalibrierung von Vergleichsplatten

ISO 376:2011 – Metallische Werkstoffe – Kalibrierung von Kraftmessgeräten zur Überprüfung einachsiger Prüfmaschinen

Hinweis : Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils neueste Version.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet:

Rockwellhärte : Der Härtewert der verbleibenden Eindringtiefe wird gemessen, nachdem die Vorprüfkraft (Preliminary Test Force) und die Gesamtprüfkraft (Total Test Force) vom Eindringkörper (Indenter) auf das Material aufgebracht wurden. Die Einheit ist HR (Rockwell-Härtezahl).

Eindringkörper : Diamantkegel (120°) oder Stahlkugel (1/16 Zoll , 1/8 Zoll , 1/4 Zoll).

Vorläufige Testkraft : Die anfänglich angewendete Kraft, z. B. 10 kgf (normal) oder 3 kgf (flach).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gesamtprüfkraft : umfasst die vorläufige Prüfkraft und die zusätzliche Prüfkraft, beispielsweise 60 kgf , 100 kgf , 150 kgf (konventionell) oder 15 kgf , 30 kgf , 45 kgf (flach).

Eindringtiefe : Die verbleibende Eindringtiefe nach Entfernen der gesamten Prüfkraft in μm .

4. Testgeräte

Härteprüfmaschine / Härteprüfer :

Entspricht den Anforderungen von ISO 6508-2, automatischer oder manueller Betrieb (Automatischer oder manueller Betrieb / Automatischer oder manueller Betrieb).

Genauigkeit der Kraftanwendung (Genauigkeit der Kraftanwendung) $\pm 0,5\%$.

Eindringling :

Diamantkegel: Spitzenradius 0,2 mm, Härte $\geq 9000\text{ HV}$.

Stahlkugeln: Durchmesser 1/16 Zoll (1,588 mm), 1/8 Zoll (3,175 mm), 1/4 Zoll (6,35 mm), Härte $\geq 850\text{ HV}$.

Referenzblöcke :

Zur Kalibrierung umfasst der Härtebereich HRA 20–88, HRB 20–100, HRC 20–70 usw. gemäß ISO 6508-3.

Umgebungsbedingungen

Temperatur: $23\pm 5^{\circ}\text{C}$.

Luftfeuchtigkeit: 30–80 %.

5. Testverfahren

Probenvorbereitung :

Oberflächenebenheit (Flache Oberfläche / Oberflächenebenheit), Rauheit (Rauheit / Rauheit) $Ra \leq 0,8\ \mu\text{m}$.

Entfernt Öl (Oil / Oil) und Oxidschichten (Oxidschicht / Oxidschicht).

Mindestdicke: 0,5 mm (flache Schicht), 1,0 mm (konventionell), Einzelheiten siehe Tabelle 1.

Auswahl der Prüfkraft (Auswahl der Prüfkraft) :

Konventioneller Rockwell: Vorprüfkraft 10 kgf , Gesamtprüfkraft 60 kgf (HRB), 100 kgf (HRC), 150 kgf (HRA).

Flacher Rockwell: Vorprüfkraft 3 kgf , Gesamtprüfkraft 15 kgf (HR15N), 30 kgf (HR30T), 45 kgf (HR45W).

Testschritte :

Vorläufige Testkraft anwenden (Vorläufige Testkraft anwenden / Vorläufige Testkraft anwenden) und 1–5 Sekunden halten.

Wenden Sie zusätzliche Testkraft an (Apply Additional Test Force) und halten Sie diese 5–10 Sekunden lang gedrückt.

Entfernen Sie die gesamte Prüfkraft und messen Sie die verbleibende Eindringtiefe.

Messung :

Der Härtewert wird vom Härteprüfer im HR automatisch ausgelesen.

Der Mindestabstand bei jeder Messung sollte $\geq 3\text{ mm}$ und der Abstand zum Rand $\geq 2,5\text{ mm}$ betragen.

6. Härtewertberechnung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Formel (Formel / Formel) :

$$HR = 100 - h \times k$$

h: bleibende Eindringtiefe (Einheit: 0,002 mm).

k: Proportionalkonstante (abhängig von Druckhöhe und Prüfkraft, z. B. k=500 in HRC).

Tabelle 1: Rockwell-Härteskalen (Rockwell-Härteskalen) :

ISO 6508-2:2015

Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell
— **Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung von Prüfmaschinen**
Metallische Werkstoffe - Rockwell-Härteprüfung
— **Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung von Prüfmaschinen**

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Norm legt die Prüf- und Kalibrierverfahren für Prüfmaschinen fest, die für die Rockwell-Härteprüfung an metallischen Werkstoffen verwendet werden.

Anwendbare Objekte : Beinhaltet normale Rockwell-Härteprüfmaschinen und oberflächliche Rockwell-Härteprüfmaschinen, geeignet für Stahl, Gusseisen und thermische Spritzbeschichtungssubstrate (wie WC-Co-Beschichtungssubstrate).

Zweck : Sicherstellen, dass die Prüfmaschine den Anforderungen der ISO 6508-1 entspricht und zuverlässige Härtemessungen zur Qualitätskontrolle und Normenkonformität ermöglicht.

1.2 Diese Norm umfasst die Erstprüfung, die regelmäßige Prüfung und die Prüfung nach der Kalibrierung.

1.3 Diese Norm behandelt nicht die Konstruktion oder Herstellung von Prüfmaschinen.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente, und deren Abschnitte werden durch Bezugnahme in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm:

ISO 6508-1:2016 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell – Teil 1: Prüfverfahren

ISO 6508-3:2015 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell – Teil 3: Kalibrierung von Vergleichsplatten

ISO 376:2011 – Metallische Werkstoffe – Kalibrierung von Kraftmessgeräten zur Überprüfung einachsiger Prüfmaschinen

Hinweis : Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils neueste Version.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet, wobei auf ISO 6508-1 Bezug genommen wird:

Verifizierung : Bestätigung, dass die Leistung der Prüfmaschine den angegebenen Anforderungen entspricht, einschließlich Fehler- und Wiederholbarkeitsprüfungen.

Kalibrierung : Justierung der Prüfmaschine mittels Vergleichskörpern, um systematische Abweichungen zu eliminieren.

Prüfkraft (Test Force / Test force) : umfasst vorläufige Prüfkraft (Preliminary Test Force / Preliminary Test Force) und Gesamtprüfkraft (Total Test Force / Total Test Force) .

Eindringkörper : Ein Diamantkegel (Diamantkegel) oder eine Stahlkugel (Stahlkugel), mit dem/der die Prüfkraft ausgeübt wird.

Referenzblock : Ein Standardblock mit bekanntem Härtewert, der zur Kalibrierung und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Überprüfung verwendet wird .

4. Anforderungen an Verifizierung und Kalibrierung

Erstüberprüfung

Dies geschieht nach dem Kauf einer neuen Testmaschine oder der Durchführung einer größeren Reparatur.

Deckt alle Skalen (Scales / Scales) und Prüfkraften (Test Forces / Test Forces) ab.

Regelmäßige Überprüfung (Periodische Überprüfung) :

Führen Sie die Prüfung alle 12 Monate durch oder passen Sie sie je nach Nutzungshäufigkeit an (z. B. alle 6 Monate bei häufigem Gebrauch).

Prüfen Sie, ob der Fehler (Fehler / Error) innerhalb des Toleranzbereichs (Within Tolerance / Allowable Range) liegt.

Überprüfung nach der Kalibrierung (Überprüfung nach der Kalibrierung) :

Wird unmittelbar nach der Kalibrierung durchgeführt, um die Wirksamkeit der Anpassung zu bestätigen (Effektivität der Anpassung).

Zulässiger Fehler :

Konventioneller Rockwell: $\pm 0,5$ HR (HRA, HRB, HRC).

Oberflächlicher Rockwell: $\pm 0,8$ HR (HR15N, HR30T usw.).

5. Testgeräte

Prüfmaschine

Entspricht den Anforderungen von ISO 6508-1, Genauigkeit der Kraftanwendung (Force Application Accuracy) $\pm 0,5$ %.

Ausgestattet mit automatischer oder manueller Eindringkörperbeladung.

Eindringling :

Diamantkegel: Spitzenradius 0,2 mm, Härte ≥ 9000 HV.

Stahlkugeln: Durchmesser 1/16 Zoll (1,588 mm), 1/8 Zoll (3,175 mm), 1/4 Zoll (6,35 mm), Härte ≥ 850 HV.

Referenzblöcke :

Gemäß ISO 6508-3 umfasst der Härtebereich HRA 20–88, HRB 20–100, HRC 20–70 usw.

Verwenden Sie mindestens 3 Referenzblöcke pro Lineal.

Messwerkzeuge :

Kraftprüfgerät, Genauigkeit $\pm 0,1$ %, gemäß ISO 376.

6. Überprüfungsverfahren

Vorbereitung

Sauberer Eindringkörper (Clean Indenter) und Referenzblockoberfläche (Referenzblockoberfläche).

Sorgen Sie für die Umgebungsbedingungen: Temperatur $23 \pm 5^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit 30-80%.

Testschritte :

Wählen Sie die entsprechende Skala (Select Appropriate Scale) und die Prüfkraft (Prüfkraft) aus .

Führen Sie an jedem Referenzblock 5 Messungen durch (5 Messungen / 5 Messungen) und notieren Sie die Härtewerte (Härtewerte / Härtewerte).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Berechnen Sie den Durchschnitt (Average / Average) und die Standardabweichung (Standard Deviation / Standard Deviation).

Fehlerprüfung (Fehlerprüfung) :

Die Abweichung (Abweichung / Abweichung) des Messwerts vom Nennwert (Nennwert / Nennwert) des Referenzkörpers darf den zulässigen Fehler (Zulässiger Fehler / Zulässiger Fehler) nicht überschreiten.

Wiederholbarkeit: Maximale Differenz zwischen 5 Messungen $\leq 0,3$ HF (konventionell) oder $\leq 0,5$ HF (oberflächlich).

7. Kalibrierungsverfahren

Anpassung

Wenn das Prüfergebnis den zulässigen Fehler (Überschreitet den zulässigen Fehler / Überschreitet den zulässigen Fehler) überschreitet, passen Sie die Prüfkraft (Prüfkraft / Prüfkraft) oder das Tiefenmesssystem (Tiefenmesssystem / Tiefenmesssystem) der Prüfmaschine an.

Mit einem Referenzblock kalibrieren und solange anpassen, bis der gemessene Wert mit dem Nennwert übereinstimmt (Konsistent mit Nennwert).

Verifizierung

Wiederholen Sie nach der Kalibrierung die Überprüfung (Wiederholungsüberprüfung) mit verschiedenen Referenzblöcken, um die Wirksamkeit der Anpassung (Wirksamkeit der Anpassung) zu bestätigen.

Aufzeichnen :

Notieren Sie die Werte vor und nach der Anpassung sowie das Kalibrierungsdatum.

8. Bericht

Inhalt

Das Modell (Model) und die Seriennummer (Serial Number) der Prüfmaschine.

Verifizierungs- oder Kalibrierungsdatum (Verifizierungs- oder Kalibrierungsdatum).

Verwendete Referenzblöcke: Härtebereich und Nennwert.

Messergebnisse: Mittelwert, Standardabweichung und maximale Abweichung.

Ob der zulässige Fehler (Permissible Error) eingehalten wird.

Bediener (Operator) und Gerätekalibrierungsstatus (Gerätekalibrierungsstatus).

Beispiel :

Prüfmaschine Modell XYZ-100, Seriennummer 12345, Kalibrierdatum 31. Mai 2025, Referenzblock HRC 50–60, Durchschnitt HRC 59,8, Abweichung $\pm 0,2$ HR, erfüllt die Anforderungen.

9. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision : Innerhalb des Labors (Innerhalb des Labors / Wiederholbarkeit) $< 0,3$ HR, zwischen Laboren (Zwischen Laboren / Reproduzierbarkeit) $< 0,5$ HR.

Verzerrung : Kann durch Abnutzung des Eindringkörpers, Inhomogenität des Referenzblocks oder Umgebungsänderungen verursacht werden und erfordert eine regelmäßige Wartung der Ausrüstung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit : Anwendbar auf die Überprüfung und Kalibrierung von Rockwell-Härteprüfmaschinen, um die Genauigkeit der Härteprüfung von Metallmaterialien sicherzustellen, einschließlich der Anwendung von thermischen Spritzbeschichtungssubstraten.

Einschränkungen :

Nicht geeignet für Härteprüfmaschinen anderer Hersteller als Rockwell.

Bei hohen Genauigkeitsanforderungen (wie etwa $\pm 0,1$ HR) sollte ein Referenzblock oder ein Referenzgerät höherer Qualität verwendet werden.

Zusammenfassung

ISO 6508-2:2015 „Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell – Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung von Prüfmaschinen / Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell – Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung von Prüfmaschinen“ bietet Überprüfungs- und Kalibrierungsmethoden für Härteprüfmaschinen nach Rockwell, um sicherzustellen, dass sie den Anforderungen von ISO 6508-1 entsprechen und für die Härteprüfung metallischer Werkstoffe (wie z. B. WC-Co-beschichtete Substrate) anwendbar sind.

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

ISO 6508-3:2015 „Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell – Teil 3: Kalibrierung von Vergleichsblöcken“ ist eine gemischte chinesische und englische Version der Norm, die alle umfassenden Bestimmungen und Anforderungen enthält. Der Inhalt basiert auf der offiziellen Norm der Internationalen Organisation für Normung (ISO) und gilt für die Kalibrierung von Vergleichsblöcken für die Rockwell-Härteprüfung. Dadurch wird die Genauigkeit und Rückverfolgbarkeit der Härtewerte gewährleistet. Die Norm dient der Überprüfung der Härteprüfung metallischer Werkstoffe (z. B. Substrate für thermische Spritzbeschichtungen oder hartmetallverwandte Werkstoffe).

ISO 6508-3:2015

Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell — Teil 3: Kalibrierung von Vergleichskörpern Metallische Werkstoffe - Rockwell-Härteprüfung — Teil 3: Kalibrierung von Vergleichskörpern

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Norm legt das Kalibrierverfahren für Vergleichskörper fest, die bei der Härteprüfung nach Rockwell verwendet werden. Sie ist auf die Härteprüfung metallischer Werkstoffe anwendbar.

Anwendbare Objekte : Enthält reguläre Rockwell-Härtereferenzblöcke (wie HRA, HRB, HRC) und oberflächliche Rockwell-Härtereferenzblöcke (wie HR15N, HR30T), anwendbar auf Stahl (Stahl), Gusseisen (Gusseisen) und thermisches Spritzbeschichtungssubstrat (wie WC-Co-Beschichtungssubstrat).

Zweck : Sicherstellung genauer Härtewerte von Referenzblöcken mit Rückverfolgbarkeit zur Überprüfung und Kalibrierung von Rockwell-Härteprüfmaschinen.

1.2 Diese Norm gilt für Kalibrierlaboratorien und Hersteller.

1.3 Diese Norm behandelt nicht den Herstellungsprozess (Herstellungsprozess / Herstellungsprozess) oder die Materialauswahl (Materialauswahl / Materialauswahl) für Referenzblöcke.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente, und deren Abschnitte werden durch Bezugnahme in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm:

ISO 6508-1:2016 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell – Teil 1: Prüfverfahren

ISO 6508-2:2015 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell – Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung von Prüfmaschinen

ISO/IEC 17025:2005 – Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien

Notiz : Im Falle einer Überarbeitung gilt die jeweils neueste Fassung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet, wobei auf ISO 6508-1 Bezug genommen wird:

Referenzblock : Ein Standardblock mit einem bekannten Härtewert , der zum Kalibrieren und Überprüfen von Rockwell-Härteprüfmaschinen verwendet wird.

Kalibrierung : Bestimmen Sie den Härtewert eines Referenzblocks mithilfe einer Standardprüfmaschine und stellen Sie seine Rückverfolgbarkeit sicher.

Rückführbarkeit : Die Härtewerte der Referenzblöcke sind über eine Kalibrierungskette mit internationalen oder nationalen Standards verknüpft.

Gleichmäßigkeit : Abweichung des Härtewerts der Referenzblockoberfläche in HR.

4. Anforderungen an Vergleichskörper

Werkstoff

Normalerweise Stahl (Steel / Steel) oder Hartmetall (Carbide / Carbide) mit gleichmäßiger Härte (Uniform Hardness / Uniform Hardness).

Defektfreie Oberfläche / Defektfreie Oberfläche, wie beispielsweise Risse (Cracks) oder Einschlüsse (Inclusions).

Abmessungen :

Dicke: ≥ 6 mm (konventioneller Rockwell) oder ≥ 2 mm (oberflächlicher Rockwell).

Oberfläche ≥ 25 mm $\times$ 25 mm, mindestens 5 Messungen sind zulässig.

Oberflächenqualität

Rauheit (Rauheitsmaß) $Ra \leq 0,4 \mu m$.

Ebenheit (Flachheit) $\leq 0,005$ mm.

Härtebereich :

Konventionelles Rockwell: HRA 20–88, HRB 20–100, HRC 20–70.

Flacher Rockwell: HR15N 70–94, HR30T 40–80.

5. Kalibrierungsverfahren

Kalibriergeräte

Verwenden Sie eine Standard-Rockwell-Härteprüfmaschine (Standard-Rockwell-Härteprüfmaschine) gemäß ISO 6508-2.

Eindringkörper: Diamantkegel (Spitzenradius 0,2 mm, Härte ≥ 9000 HV) oder Stahlkugel (1/16, 1/8, 1/4 Zoll , Härte ≥ 850 HV).

Umgebungsbedingungen

Temperatur: $23 \pm 2^\circ C$.

Luftfeuchtigkeit: 30-80 %.

Kalibrierungsschritte :

Saubere Referenzblockoberfläche (Saubere Referenzblockoberfläche).

Wählen Sie die entsprechende Skala (Select Appropriate Scale) und die Prüfkraft (Prüfkraft) aus .

Führen Sie Messungen an mindestens 5 Messpunkten durch, die gleichmäßig auf dem Referenzblock verteilt sind.

Berechnen Sie den durchschnittlichen Härtewert (Average Hardness Value) und die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gleichmäßigkeit (Gleichmäßigkeit).

Einheitlichkeitsanforderung

Die maximale Differenz zwischen den Messpunkten (Maximale Differenz / Maximale Differenz) beträgt $\leq 0,5$ HR (Konventioneller Rockwell) bzw. $\leq 0,8$ HR (Oberflächlicher Rockwell).

6. Kalibrierungsergebnisse

Härtewert :

Der Kalibrierhärtewert des Referenzblocks ist der Durchschnittswert (Average Value / Average Value), die Einheit ist HR.

Beispiel: HRC 60,2 $\pm$ 0,3.

Unsicherheit

Kalibrierunsicherheit $\leq \pm 0,5$ HR (konventioneller Rockwell) oder $\pm 0,8$ HR (flacher Rockwell).

Entspricht den Anforderungen von ISO/IEC 17025 und bietet eine Unsicherheitserklärung.

Rückverfolgbarkeit

Die Kalibrierungsergebnisse müssen auf nationale oder internationale Standards rückführbar sein, z. B. über einen primären Referenzblock.

7. Kalibrierungszertifikat

Inhalt

Referenzblockidentifikation (Reference Block Identification): wie Seriennummer (Serial Number).

Skala (Skala / Skala) und Härtewert (Härtewert / Härtewert): z. B. HRC 60,2 $\pm$ 0,3.

Gleichmäßigkeit: Die maximale Differenz zwischen den Messpunkten.

Unsicherheit: Beispielsweise $\pm 0,4$ HR.

Kalibrierdatum (Calibration Date / Calibration Date) und Gültigkeitsdauer (Validity Period / Validity Period): In der Regel 2 Jahre.

Informationen zum Kalibrierlabor : Name, Adresse und Akkreditierungsstatus nach ISO/IEC 17025.

Beispiel :

Referenzblock-Seriennummer 12345, Skala HRC, Härtewert 60,1 $\pm$ 0,3, Gleichmäßigkeit 0,4 HR,

Unsicherheit $\pm 0,4$ HR, Kalibrierdatum 31. Mai 2025, gültig bis 31. Mai 2027.

8. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision : Innerhalb des Labors (Innerhalb des Labors / Wiederholbarkeit) $< 0,3$ HR, zwischen Laboren (Zwischen Laboren / Reproduzierbarkeit) $< 0,5$ HR.

Verzerrung : Kann durch Oberflächeninhomogenität des Referenzblocks, Fehler der Prüfmaschine oder Umgebungsbedingungen verursacht werden und erfordert eine strenge Kontrolle des Kalibrierungsprozesses.

9. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit : Geeignet für die Kalibrierung von Rockwell-Härtereferenzblöcken, um die Genauigkeit und Rückverfolgbarkeit von Härtetests sicherzustellen, und wird häufig zur Härteüberprüfung von Substraten für thermische Spritzbeschichtungen verwendet.

Einschränkungen :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nicht geeignet für Härtevergleichsblöcke, die nicht dem Rockwell-Standard entsprechen.
Übermäßiger Gebrauch des Referenzblocks (Anzahl der Verwendungen / Anzahl der Verwendungen) kann zu Oberflächenverschleiß (Oberflächenverschleiß / Oberflächenverschleiß) führen und eine regelmäßige Neukalibrierung (Neukalibrierung / Neukalibrierung) erforderlich machen.

Zusammenfassung

ISO 6508-3:2015 „Metallische Werkstoffe – Rockwell-Härteprüfung – Teil 3: Kalibrierung von Vergleichsplatten / Metallische Werkstoffe – Rockwell-Härteprüfung – Teil 3: Kalibrierung von Vergleichsplatten“ bietet ein Kalibrierverfahren für Rockwell-Härtevergleichsplatten, um die Genauigkeit und Rückverfolgbarkeit ihrer Härtewerte sicherzustellen. Es eignet sich zur Überprüfung der Härteprüfung metallischer Werkstoffe (z. B. WC-Co-beschichteter Substrate).

Anhang:

ISO 18265:2013 – Metallische Werkstoffe

— Umrechnung von Härtewerten

Metallische Werkstoffe

— Umrechnung von Härtewerten

1. Geltungsbereich

1.1 Diese Norm legt die Umrechnungsverfahren (Umrechnungsmethoden) für die Härtewerte (Härtewerte) metallischer Werkstoffe (metallische Werkstoffe) zwischen verschiedenen Härteskalen (Härteskalen) fest.

Anwendbare Objekte : Stahl, Gusseisen, Nichteisenmetalle und thermisches Spritzbeschichtungssubstrat (wie WC-Co-Beschichtungssubstrat).

Zweck : Bereitstellung von Umrechnungstabellen (Umrechnungstabellen / Umrechnungsformeln) zwischen Härteskalen zur Verwendung beim Materialvergleich (Materialvergleich / Materialvergleich) und bei der Qualitätskontrolle (Qualitätskontrolle / Qualitätskontrolle).

1.2 Diese Norm umfasst die folgenden Härteskalen:

Rockwell-Härte (Rockwell-Härte): HRA, HRB, HRC, HR15N usw.

Brinellhärte (Brinellhärte): HBW (zB HBW 10/3000).

Vickershärte (Vickershärte): HV (zB HV 10).

Knoop-Härte (Knoop Härte) : HK.

1.3 Sofern nicht anders angegeben, gilt diese Norm nicht für nichtmetallische Werkstoffe oder speziell wärmebehandelte Werkstoffe.

2. Normative Verweisungen

Diese Norm verweist auf die folgenden Dokumente, und deren Abschnitte werden durch Bezugnahme in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm:

ISO 6506-1:2014 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Brinell – Teil 1: Prüfverfahren

ISO 6507-1:2018 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Vickers – Teil 1: Prüfverfahren

ISO 6508-1:2016 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell – Teil 1: Prüfverfahren

ISO 4545-1:2017 – Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Knoop – Teil 1: Prüfverfahren

Hinweis : Bei einer Überarbeitung gilt die jeweils neueste Version.

3. Begriffe und Definitionen

In dieser Norm werden die folgenden Begriffe und Definitionen verwendet:

Härtewertumrechnung : Der Vorgang der Umrechnung des Messwerts (Messwert) einer Härteskala in den Wert einer anderen Härteskala.

Härteskala : Eine Methode zum Ausdrücken von Härtewerten , die einem bestimmten Härteprüfverfahren entsprechen, wie z. B. HRC, HBW und HV.

Umrechnungstabelle : Eine Tabelle mit Härtewerten, die auf experimentellen Daten oder

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

theoretischen Modellen basiert .

Unsicherheit : Der Fehler (Error), der während des Härteumrechnungsprozesses auftreten kann, ausgedrückt in Härtewerteinheiten (wie HR, HV).

4. Grundsätze der Konvertierung

Materialklassifizierung

Bei der Härteumrechnung muss der Materialtyp (Materialtyp / Materialtyp) berücksichtigt werden, z. B. kohlenstoffarmer Stahl (kohlenstoffarmer Stahl / kohlenstoffarmer Stahl), legierter Stahl (legierter Stahl / legierter Stahl), Aluminiumlegierung (Aluminiumlegierung / Aluminiumlegierung). Unterschiedliche Materialien haben unterschiedliche Umrechnungsverhältnisse.

Testbedingungen :

einer Oberflächenrauheit (Oberflächenrauheit) $Ra \leq 0,8 \mu m$.

Die Prüfkraft (Test Force / Prüfkraft) und der Eindringkörper (Indenter / Indenter) müssen den entsprechenden Härteprüfnormen (wie z. B. ISO 6508-1) entsprechen.

Unsicherheit

Die Unsicherheit des umgerechneten Wertes beträgt typischerweise $\pm 5 \%$ (je nach Maßstab und Material).

Umgerechnete Werte dienen nur als Referenz (For Reference Only) und sind kein Ersatz für eine direkte Messung (Direct Measurement).

5. Umrechnungstabellen

1 : Härteumrechnung für Stahl

Beispiel:

HRC	HBW (10/3000)	HV (10)
20	238	240
40	392	420
60	654	720

Tabelle 2: Härteumrechnung für Gusseisen (Härteumrechnung für Gusseisen / Härteumrechnung für Gusseisen) :

Beispiel:

HRB	HBW (10/3000)
50	149
80	228

Tabelle 3: Härteumrechnung für Nichteisenmetalle (Härteumrechnung für Nichteisenmetalle / Härteumrechnung für Nichteisenmetalle) :

Beispiel:

HRB	HV (5)
40	75

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

HRB	HV (5)
70	130

Hinweis (Hinweis / Hinweis) :

Die vollständige Umrechnungstabelle finden Sie im Anhang der Norm.

Die Umrechnungstabellen basieren auf umfangreichen experimentellen Daten und sind für den allgemeinen Gebrauch geeignet.

6. Umrechnungsformeln

Beispielformel :

Umrechnung von HRC in HV (kohlenstoffarmer Stahl):

$$HV = 100 \times (HRC + 10) / 3$$

Umrechnung von HBW in HRC (legierter Stahl):

$$HRC = 0,087 \times HBW - 5,5$$

Anwendungsbereich :

Die Formel ist auf einen bestimmten Härtebereich (spezifischer Härtebereich) anwendbar, beispielsweise HRC 20–60.

Sie müssen je nach Materialtyp die entsprechende Formel auswählen.

Unsicherheit

Die Unsicherheit der Umrechnungsformel beträgt typischerweise $\pm 8\%$, abhängig vom Material und Härtebereich.

7. Vorsichtsmaßnahmen bei der Verwendung von Umrechnungstabellen

Materialkonsistenz

Stellen Sie sicher, dass der Materialtyp vor und nach der Konvertierung konsistent ist (Konsistenter Materialtyp / Materialtyp ist konsistent), z. B. indem Sie die Konvertierung von HRC von kohlenstoffarmem Stahl in HV von hochlegiertem Stahl vermeiden.

Testbedingungen :

Der Härtewert muss unter Standardbedingungen gemessen werden (Measured Under Standard Conditions / Gemessen unter Standardbedingungen), wenn Prüfkraft, Eindringkörper und Oberflächenqualität (Surface Quality / Oberflächenqualität) den Anforderungen entsprechen.

Konvertierungsbeschränkungen :

Aufgrund von Unterschieden in der Mikrostruktur können die umgerechneten Werte Abweichungen aufweisen.

Bei hoher Härte ($HRC > 60$) oder niedriger Härte ($HRB < 20$) ist der Umrechnungsfehler größer (größerer Fehler).

8. Bericht

Inhalt

Ursprünglicher Härtewert: Zum Beispiel HRC 55,0.

Umgerechneter Härtewert: Zum Beispiel HV 580.

Materialtyp: z. B. legierter Stahl.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verwendete Umrechnungstabelle oder Formel: Siehe Tabelle 1.

Unsicherheit (Unsicherheit): beispielsweise $\pm 5\%$.

Inspektionsdatum (Inspektionsdatum) und Betreiber (Betreiber).

Beispiel :

Legierter Stahl, ursprünglicher Wert HRC 55,0, umgerechnet auf HV 580, anhand von Tabelle 1, Unsicherheit $\pm 5\%$, Datum xx/xx/ 2025.

9. Präzision und Voreingenommenheit

Präzision : Die Wiederholbarkeit des konvertierten Werts hängt von der Genauigkeit der ursprünglichen Messung ab, die normalerweise $< \pm 3\%$ beträgt.

Voreingenommenheit :

Die Ursache hierfür können Unterschiede in der Materialmikrostruktur (Materialmikrostruktur / Materialmikrostruktur), den Wärmebehandlungsbedingungen (Wärmebehandlungsbedingung / Wärmebehandlungsbedingung) oder den Testbedingungen (Testbedingungen / Testbedingungen) sein.

Die Abweichungsspanne beträgt üblicherweise $\pm 5\%$ bis $\pm 10\%$.

10. Anwendbarkeit und Beschränkungen

Anwendbarkeit : Geeignet für die Härtewertumrechnung von Stahl, Gusseisen und Nichteisenmetallen und wird häufig für den Härtevergleich von Substraten mit thermischer Spritzbeschichtung verwendet.

Einschränkungen :

Nicht geeignet für nichtmetallische Werkstoffe.

Spezielle wärmebehandelte Materialien (wie etwa vergütete) sollten mit Vorsicht verwendet werden (mit Vorsicht verwenden).

Die umgerechneten Werte dienen nur als Referenz, eine direkte Messung ist vorzuziehen.

Zusammenfassung

Die ISO 18265:2013 „Metallische Werkstoffe – Umrechnung von Härtewerten“ bietet eine Methode zur Umrechnung der Härtewerte metallischer Werkstoffe zwischen verschiedenen Härteskalen (wie Rockwell, Brinell, Vickers) inklusive Umrechnungstabellen und Formeln. Sie eignet sich für die Qualitätskontrolle und den Werkstoffvergleich, weist jedoch Einschränkungen auf.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

Rockwellhärte, Brinellhärte, Vickershärte, Knoophärte Verhältnistabelle

Vergleichstabelle der Rockwell-, Brinell-, Vickers- und Knoop-Härte
Vergleichstabelle der Rockwell-, Brinell-, Vickers- und Knoop-Härte

Aspekt	Rockwell-Härte	Brinellhärte	Vickershärte	Knoop-Härte
Definition	Die Anfangs- und Gesamtprüfkraften werden durch den Eindringkörper aufgebracht und die verbleibende Eindringtiefe wird gemessen, um den Härtewert in HR (z. B. HRC) zu berechnen.	Die Prüfkraft wird durch einen Eindringkörper aus Stahlkugeln aufgebracht, der Eindringdurchmesser gemessen und der Härtewert in HBW (z. B. HBW 10/3000) berechnet.	Die Prüfkraft wird durch einen Diamant-Viereckspyramiden-Eindringkörper aufgebracht und die diagonale Länge des Eindringlings wird gemessen, um den Härtewert (in HV) zu berechnen.	Die Prüfkraft wird durch einen langen Pyramideneindringkörper aus Diamant aufgebracht und die diagonale Länge des Eindringlings wird gemessen, um den Härtewert in HK (z. B. HK 0,5) zu berechnen.
Standard	ISO 6508-1:2016	ISO 6506-1:2014	ISO 6507-1:2018	ISO 4545-1:2017
Eindringkörper	Diamantkegel (120°, Spitzenradius 0,2 mm) oder Stahlkugel (1/16, 1/8, 1/4 Zoll).	Wolframkarbidkugel, normalerweise mit Durchmessern von 10 mm, 5 mm und 2,5 mm.	Diamantpyramide mit einem Scheitelwinkel von 136°.	Diamant-Rhombus-Pyramide mit einem vertikalen Scheitelwinkel von 172,5° und einem horizontalen Scheitelwinkel von 130°.
Prüfkraft	Konventionell: Anfangskraft 10 kgf, Gesamtkraft 60, 100, 150 kgf; Flache Schicht: Anfangskraft 3 kgf, Gesamtkraft 15, 30, 45 kgf.	Häufig verwendet: 500, 1000, 3000 kgf (z. B. bedeutet HBW 10/3000 10 mm Kugel, 3000 kgf).	Häufig verwendet: 1–100 kgf (z. B. bedeutet HV 10 10 kgf), kann aber auch nur 0,01 kgf betragen.	Häufig verwendet: 0,01–2 kgf (z. B. bedeutet HK 0,5 0,5 kgf).
Messmethode	Messen Sie die bleibende Eindringtiefe (Depth of Indentation) in Einheiten von 0,002 mm und lesen Sie den HR-Wert direkt ab.	Messen Sie den Eindruckdurchmesser in mm und berechnen Sie ihn mit der Formel: $HBW = 2F / (\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2}))$.	Messen Sie die diagonale Länge der Vertiefung in mm und berechnen Sie sie mit der Formel: $HV = 1,8544F / d^2$.	Messen Sie die lange Diagonale der Vertiefung in mm und berechnen Sie sie mit der Formel: $HK = 14,229F / L^2$.
Härtebereich	HRA 20-88, HRB 20-100, HRC 20-70, HR15N 70-94 usw.	HBW 8-650 (abhängig von Prüfkraft und Kugeldurchmesser).	HV 1-3000 (abhängig von der Prüfkraft).	HK 10-1000 (abhängig von der Prüfkraft).
Anwendbare Materialien	Metallische Werkstoffe (wie	Metallische Werkstoffe	Metalle, Keramik,	Metalle, Keramik, dünne

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

	Stahl, Gusseisen, Substrate für thermische Spritzbeschichtungen), besonders geeignet für Werkstoffe mit hoher Härte (HRC) und mittlerer Härte (HRB).	(wie Stahl, Gusseisen, Aluminiumlegierungen), geeignet für weichere Werkstoffe und größere Proben.	Beschichtungen (z. B. Schichten, spröde Materialien (z. B. Glas), besonders geeignet für Mikrobereiche. Spektrum an Hartmaterialien, auch dünne Schichten.	
Probenanforderungen	Die Oberfläche ist flach, $Ra \leq 0,8 \mu m$, Dicke $\geq 0,5 mm$ (flache Schicht) oder $\geq 1,0 mm$ (konventionell).	Die Oberfläche ist flach, $Ra \leq 1,6 \mu m$, und die Dicke beträgt ≥ 8 mal die Eindringtiefe (normalerweise $\geq 6 mm$).	Die Oberfläche ist flach, $Ra \leq 0,4 \mu m$, und die Dicke beträgt $\geq 1,5$ -fache der diagonalen Länge der Vertiefung (normalerweise $\geq 0,2 mm$).	Die Oberfläche ist flach, $Ra \leq 0,2 \mu m$, Dicke $\geq 0,1 mm$, geeignet für winzige Proben.
Testzeit	Schnell, 5–10 Sekunden	Langsamer, 10–15 Sekunden, erfordert zusätzliche Messzeit.	Mittel, 10–15 Sekunden, diagonale Messung erforderlich	Mittel, 10–15 Sekunden, lange diagonale Linie erforderlich
Einrückungsform	Rund (Stahlkugel) oder konisch (Diamantkegel).	Kreisförmig.	Quadratische Form.	Raute, mit einem Längen-Breiten-Verhältnis von etwa 7:1.
Vorteile	Einfache Bedienung. Direktes Ablesen des Härtewertes. Geeignet für die Produktion.	Geeignet für einen großen Härtebereich (großer Härtebereich, große Eindrücke, hohe Repräsentativität).	Breites Anwendungsspektrum. Kann dünne Schichten prüfen. Konsistente Eindrucksgeometrie	Geeignet für Mikrobereiche. Geeignet für spröde Materialien. Flache Vertiefung, weniger Schäden.
Nachteile	– Hohe Anforderung an die Oberflächenqualität / Hohe Anforderung an die Oberflächenqualität. – Unterschiedliche Maßstäbe können nicht direkt verglichen werden (Maßstäbe nicht direkt vergleichbar / Maßstäbe können nicht direkt verglichen werden).	Große Einkerbungen, beschädigte Probe. Nicht geeignet für dünne oder harte Materialien.	– Erfordert optische Messung / Erfordert optische Messung. – Empfindlich gegenüber Oberflächenrauheit / Empfindlich gegenüber Oberflächenrauheit.	– Erfordert optische Messung / Erfordert optische Messung. – Asymmetrische Einkerbung, komplexe Messung / Asymmetrische Einkerbung, komplexe Messung.
Anwendungen	Thermische Spritzbeschichtungssubstrate (wie WC-Co-Substrate),	Gussteile, Schmiedeteile, Härteprüfung weicherer	Thermische Spritzbeschichtungen, dünne Filme,	Mikrohärteprüfung von Mikroteilen, Beschichtungen,

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

	Stahl, Härteprüfung mechanischer Teile (Mechanische Teile/Mechanische Teile).	Metalle.	oberflächengehärtete Schichten.	Keramik und Glas.
Unsicherheit	±0,5 HR (konventionell) oder ±0,8 HR (oberflächlich).	±5 % (je nach Material und Härtebereich).	±3 % (abhängig von Prüfkraft und Material).	±5 % (abhängig von Prüfkraft und Material).
Konvertierungsbeziehungen	- HRC 20 ≈ HBW 238 ≈ HV 240 ≈ HK 255 - HRC 40 ≈ HBW 392 ≈ HV 420 ≈ HK 445 - HRC 60 ≈ HBW 654 ≈ HV 720 ≈ HK 760	- HBW 238 ≈ HRC 20 ≈ HV 240 ≈ HK 255 - HBW 392 ≈ HRC 40 ≈ HV 420 ≈ HK 445 - HBW 654 ≈ HRC 60 ≈ HV 720 ≈ HK 760	- HV 240 ≈ HRC 20 ≈ HBW 238 ≈ HK 255 - HV 420 ≈ HRC 40 ≈ HBW 392 ≈ HK 445 - HV 720 ≈ HRC 60 ≈ HBW 654 ≈ HK 760	- HK 255 ≈ HRC 20 ≈ HBW 238 ≈ HV 240 - HK 445 ≈ HRC 40 ≈ HBW 392 ≈ HV 420 - HK 760 ≈ HRC 60 ≈ HBW 654 ≈ HV 720

Konvertierungshinweise

Anwendbares Material : Die obige Umrechnungsbeziehung ist auf Stahl (Steel) anwendbar und basiert auf der Umrechnungstabelle und den experimentellen Daten in der Norm ISO 18265:2013.

Unsicherheit : Die Unsicherheit des umgerechneten Wertes beträgt ca. $\pm 5\%$. Bei der tatsächlichen Anwendung müssen die Mikrostruktur des Materials (Mikrostruktur / Mikrostruktur) und die Testbedingungen (Testbedingungen / Testbedingungen) berücksichtigt werden.

Verwendungsempfehlung : Der ungerechnete Wert **dient** nur als Referenz (For Reference Only / For reference only), eine direkte Messung (Direct Measurement / Direct Measurement) wird empfohlen.

Beispiel :

HRC 40 $\approx$ HBW 392 $\approx$ HV 420 $\approx$ HK 445, das heißt bei Stahlwerkstoffen lässt sich die Rockwellhärte HRC 40 in die Brinellhärte HBW 392, die Vickershärte HV 420 und die Knoophärte HK 445 umrechnen.

Inhaltsverzeichnis

Teil 2: Herstellungsprozess von Hartmetall

Kapitel 6: Beschichtungs- und Verbundtechnologie

6.1 Vorbereitung der Hartmetallbeschichtung

6.1.1 Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzen (HVOF, Schichthärte HV 1200-1500)

6.1.2 Plasmaspritzen (APS) und Detonationsspritzen

6.2 Beschichtungsmaterialien

6.2.1 Zusammensetzungsoptimierung von WCCo- und WCNiCr -Beschichtungen

6.2.2 Mehrphasige Verbundbeschichtung (WCTiCNi)

6.3 Gradienten- und nanostrukturierte Hartmetalle

6.3.1 Schnittstellentechnik des Gradienten WCCo

6.3.2 Herstellung und Herausforderungen von Nano-WC (<100 nm)

6.4 Beschichtungsleistungsprüfung

6.4.1 Haftfestigkeit (50-80 MPa) und Porosität (<1%)

6.4.2 Verschleißfestigkeit (ASTM G65, Verschleißrate <0,06 mm³ / N · m)

Anhang:

Was ist eine Hartmetallbeschichtung

Hartmetall-Hochexplosionsspritztechnologie (DGS)

Hartmetall-Plasmaspritztechnologie (APS , atmosphärisches Plasmaspritzen)

Hochgeschwindigkeits-Brennstoffspritzen (HVOF) für Hartmetall

Vakuumplasmaspritzen mit Hartmetall (VPS , Vakuumplasmaspritzen)

Carbide Interface Engineering

Technologie zur Oberflächenmodifizierung mit Hartmetall

Anwendung einer Hartmetall-Nanokompositbeschichtung in einer Elektrolysezelle

Was ist nanobeschichtetes Hartmetall

Was ist Gradientenkarbid?

Gradientenkarbid-Bergbaupickel und -technologie

Anwendung von Hartmetall in Flugzeugdüsen

ISO 14923:2003 Thermisches Spritzen – Charakterisierung und Prüfung thermisch gespritzter Schichten

Seile für Flamm- und Lichtbogenspritzen - Klassifizierung - Technische Lieferbedingungen

ASTM C633-13(2017) Standardprüfverfahren für die Haft- oder Kohäsionsfestigkeit von thermischen Spritzbeschichtungen

ASTM E2109-01(2014) Standardprüfverfahren für den scheinbaren Porositätsprozentsatz von thermischen Spritzbeschichtungen

EN 657:2005 Thermisches Spritzen – Terminologie und Klassifizierung

EN 13507:2018 Thermisches Spritzen – Oberflächenvorbereitung von Metallteilen und Baugruppen

GB/T 18719-2002 Thermisches Spritzpulver

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

GB/T 17391-2008 Prüfverfahren für die Haftung thermischer Spritzbeschichtungen
AMS 2437: HVOF-Prozessspezifikation
ISO 3252:2019 Pulvermetallurgie – Vokabular
ISO 14923:2003 Thermisches Spritzen – Charakterisierung und Prüfung thermisch gespritzter Schichten
ISO 4505:2017 Metallische Werkstoffe – Härteprüfung – Prüfverfahren
Metallische Werkstoffe -- Härteprüfungen -- Prüfverfahren
ASTM E2283-08 (2019) Standardverfahren für die Extremwertanalyse nichtmetallischer Einschlüsse in Stahl und anderer mikrostruktureller Merkmale
Standardverfahren für die Extremwertanalyse nichtmetallischer Einschlüsse in Stahl und anderer mikrostruktureller Merkmale
EN 13204:2017 Thermisches Spritzen – Pulver – Zusammensetzung, technische Lieferbedingungen
Thermisches Spritzen - Pulver - Zusammensetzung, technische Lieferbedingungen
GB/T 5242-2007 „Thermisches Spritzen – Drähte und Stäbe
Thermisches Spritzen – Draht und Stab
GB/T3489-2012 Thermisches Spritzen – Metallografische Untersuchung von thermischen Spritzbeschichtungen
GB/T 38511-2020 Thermisches Spritzen – Pulver – Zusammensetzung, technische Lieferbedingungen
Thermisches Spritzen – Pulver – Zusammensetzung, technische Lieferbedingungen
ASME B46.1-2009 Oberflächentextur (Oberflächenrauheit, Welligkeit und Lage
Oberflächenbeschaffenheit (Oberflächenrauheit, Welligkeit und Ebenheit)
EN 10204:2004 Metallische Erzeugnisse – Arten von Prüfbescheinigungen
Metallprodukte – Arten von Prüfdokumenten
ISO 6508-1:2016 Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell – Teil 1: Prüfverfahren
Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Rockwell - Teil 1: Prüfverfahren
ISO 6508-2:2015 Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell
— Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung von Prüfmaschinen
Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Rockwell - Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung von Prüfmaschinen
ISO 6508-3:2015 Metallische Werkstoffe – Härteprüfung nach Rockwell
— Teil 3: Kalibrierung von Vergleichskörpern
Metallische Werkstoffe - Härteprüfung nach Rockwell – Teil 3: Kalibrierung von Vergleichsplatten
ISO 18265:2013 – Metallische Werkstoffe – Umrechnung von Härtewerten
Metallische Werkstoffe - Umrechnung von Härtewerten
Härteverhältnistabelle der Rockwellhärte, Brinellhärte, Vickershärte und Knoop Härte

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