

Wolframhartmetall

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

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



Kapitel 3: Physikalische und chemische Eigenschaften von Hartmetall

Wolframhartmetall hat sich aufgrund seiner hervorragenden physikalischen und chemischen Eigenschaften zum Kernmaterial für Schneidwerkzeuge, verschleißfeste Teile, Bergbaumaschinen, die Luft- und Raumfahrt, chemische Anlagen, Kernkraftwerke und Tiefseegeräte entwickelt. Zu diesen Eigenschaften gehören mechanische Eigenschaften (Härte, Zähigkeit, Druckfestigkeit, Biegefestigkeit), thermische Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient, Hochtemperaturbeständigkeit, Thermoschockbeständigkeit), chemische Stabilität (Korrosionsbeständigkeit, Oxidationsbeständigkeit) sowie elektrische und magnetische Eigenschaften (Leitfähigkeit, Co-Phasenmagnetismus), die sich aus der kovalenten Bindungssteifigkeit von Wolframkarbid (WC) und der plastischen Synergie der Kobalt- (Co) oder Nickel- (Ni) Bindungsphase ergeben.

Dieses Kapitel analysiert jede physikochemischen Eigenschaft, Prüf- und Testmethoden, Einflussfaktoren auf verschiedene Leistungsaspekte sowie erweiterte Anwendungsfälle und untersucht eingehend die theoretischen Grundlagen, die Prüftechnik, den Regelungsmechanismus, die Anpassungsfähigkeit an Umweltbedingungen und die Leistung unter Arbeitsbedingungen. Anhand detaillierter theoretischer Modelle, präziser experimenteller Daten, umfangreicher domänenübergreifender Fälle und einer Leistungseinflussanalyse enthüllt dieses Kapitel den inhärenten Mechanismus physikochemischen Eigenschaften und bietet eine umfassende Referenz für Leistungsoptimierung, Anpassung an extreme Arbeitsbedingungen und interdisziplinäre Forschung zu Hartmetall.

3.1 Mechanische Eigenschaften von Hartmetall

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die mechanischen Eigenschaften bilden den Grundstein für die Zuverlässigkeit von Hartmetall in Umgebungen mit hoher Belastung, Stößen, Verschleiß und komplexen Beanspruchungen. Hartmetall wird häufig in den Bereichen Schneiden, Bergbau, Stanzen, Luftfahrt und Tiefseebohrungen eingesetzt. In diesem Abschnitt werden Härte, Zähigkeit, Druckfestigkeit und Biegefestigkeit einzeln analysiert und neue Prüf- und Testmethoden sowie Einflussfaktoren erläutert.

3.1.1 Härte von Hartmetall

Härte bezeichnet die Widerstandsfähigkeit eines Materials gegen das Eindringen von Fremdkörpern in die Oberfläche und gegen Kratzer. Sie ist ein wichtiger Indikator für die mechanischen Eigenschaften eines Materials. Sie spiegelt allgemein die Festigkeit, Verschleißfestigkeit und Verformungsbeständigkeit eines Materials wider und wird häufig durch die Widerstandsfähigkeit gegen Druck, Scherung oder plastische Verformung charakterisiert. Zu den gängigen Messmethoden gehören die Brinellhärte (HB), die Rockwellhärte (HR), die Vickershärte (HV) und die Shorehärte (HS). Ihre Werte werden anhand des Eindringkörpertyps (z. B. Stahlkugel oder Diamant), der Belastungsgröße und der Eindruckfläche berechnet (ISO 6507, ASTM E10). Beispielsweise beträgt die Vickershärte von Hartmetall üblicherweise 1.200–2.400 HV, abhängig von der Korngröße und dem Gehalt der Bindephase. Die Härte hängt eng mit der Mikrostruktur des Materials (z. B. Korngröße, Phasenzusammensetzung) und der Wärmebehandlung zusammen und ist eine wichtige Grundlage für die Auswahl von Materialien und die Bewertung der Haltbarkeit.

Die Vickershärte (HV) von Hartmetall beträgt $1500 - 2500 \pm 30$ und übertrifft damit Schnellarbeitsstahl (HV 800 - 1000), Keramik (HV 1200 - 1800) und Titanlegierungen (HV 300 - 400) bei weitem. Dies ist der Kern seiner Verschleißfestigkeit. Die Härte rührt vom kovalenten Bindungsnetzwerk von WC her (WC-Bindungsenergie $6,0 \text{ eV} \pm 0,2 \text{ eV}$, Bindungslänge $2,0 \text{ \AA} \pm 0,05 \text{ \AA}$), und seine hexagonale Kristallstruktur (P6m2, Elastizitätsmodul $700 \text{ GPa} \pm 10 \text{ GPa}$) bietet Widerstand gegen plastische Verformung. Die Härte von Hartmetall mit 10 % Co beträgt $HV 1800 \pm 30$, und die von Hartmetall mit 20 % Co sinkt auf $HV 1400 \pm 30$, da die Weichheit der Co-Phase (HV 300 – 400, kubisch-flächenzentrierte FCC-Struktur) die Druckfestigkeit verringert.

Die Härte von Hartmetall ist hervorragend.

Bei 600 °C beträgt die Härte von Hartmetall mit 6 % Co weiterhin $HV 1500 \pm 30$, sinkt bei 800 °C auf $HV 1200 \pm 20$ und bei 1000 °C auf $HV 1000 \pm 30$ und ist damit besser als bei Schnellarbeitsstahl (Senkung auf HV 500 bei 600 °C) und Keramik (Senkung auf HV 800 bei 1000 °C). Durch Zugabe von Cr_3C_2 (0,5 % 1 %) wird die Härte durch Mischkristallverfestigung (Atomradius Cr $1,28 \text{ \AA}$, Gitterspannung $< 2 \% \pm 0,2 \%$) auf $HV 1900 - 2200 \pm 50$ erhöht. Beispielsweise weist ein Hartmetallwerkzeug (HV 1900) mit 8 % Co und 0,5 % Cr_3C_2 einen Verschleißwert von $< 0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$ und eine Lebensdauer von 15 Stunden ± 1 Stunde beim Hochgeschwindigkeitsschneiden von rostfreiem Stahl (Zugfestigkeit $> 1000 \text{ MPa}$, Schnittgeschwindigkeit 200 m/min, Reibungskoeffizient $< 0,3 \pm 0,05$) auf, was besser ist als bei Keramikwerkzeugen (Lebensdauer < 5 Stunden, Verschleißwert $> 0,3 \text{ mm}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Der Einfluss der Umgebung auf die Härte muss beachtet werden.

In einer heißen und feuchten Umgebung (40 °C, 90 % Luftfeuchtigkeit, 168 Stunden) wird Mikrokorrosion der Co-Phase induziert (Gewichtsverlust $<0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,02 \text{ mg/cm}^2$, Korrosionstiefe $<1 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$) und die Härte nimmt um $<2 \% \pm 0,5 \%$ ab; in einer extrem kalten Umgebung (40 °C) erhöht sich die Härte aufgrund der Versprödung der Co-Phase leicht um $1 \% \pm 0,3 \%$ (plastische Dehnung nimmt um $<3 \% \pm 0,3 \%$ ab); unter hohem Druck ($> 100 \text{ MPa}$, 5000 m Tiefsee) gibt es keine signifikante Änderung (Abnahme $<0,5 \% \pm 0,1 \%$); Strahlung (Kernenergie, 10^4 Gy , γ -Strahlen) induziert Punktdefekte und die Härte nimmt um $<1 \% \pm 0,2 \%$ ab.

Ni-haltiges Hartmetall (12 % Ni, HV 1700 ± 30) ist in Meeresumgebungen (Salzgehalt 3,5 %, pH 8, Cl-19 g/l) stabiler und weist einen Härteabfall von $< 1 \%$ auf. In der Praxis weisen Hartmetallrollen mit 6 % Co eine Verschleißtiefe von $< 0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$ und eine Lebensdauer von $> 300 \text{ Stunden} \pm 20 \text{ Stunden}$ im Bergbau auf (Granit, Gesteins Härte $> 1000 \text{ MPa}$, Schlagfrequenz $> 1000 \text{ Mal/min}$), was besser ist als Schnellarbeitsstahl (Lebensdauer $< 50 \text{ Stunden}$).

Die Optimierung der Härte erfordert einen Kompromiss mit der Zähigkeit.

Durch Zugabe von TiC (10–15 %, Härte $20 \text{ GPa} \pm 1 \text{ GPa}$) wird die Härte auf HV 2000 ± 50 erhöht und gleichzeitig die Dichte (auf $12 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) reduziert, was für leichte Luftfahrtteile wie Turbinenschaufelformen geeignet ist (Belastung $> 2000 \text{ MPa}$, Verformungstoleranz $< 0,01 \text{ mm}$). Beim Verbundstanzen (600 °C, Frequenz $> 10^4 \text{ Mal/Stunde}$) beträgt die Oberflächenrauheit der Hartmetallform mit 15 % TiC $R_a < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$, und die Lebensdauer wird um $40 \% \pm 5 \%$ erhöht, was besser ist als bei Stahlformen ($R_a > 0,5 \mu\text{m}$, Lebensdauer $< 2000 \text{ Stunden}$). Ein bereichsübergreifender Vergleich zeigt, dass die Härte von Hartmetall besser ist als die von hochfestem Stahl (HV 600–800) und Titanlegierung (HV 300–400), aber schlechter als die von Diamant (HV > 8000).

3.1.1.1 Härteausdrücke

Es gibt viele Möglichkeiten, die Härte auszudrücken, die für unterschiedliche Testszenarien und Materialvergleiche geeignet sind:

Vickershärte (HV)

Die Vickershärte (HV) ist ein Standardverfahren zur genauen Messung der Härte von Materialien. Dabei wird ein pyramidenförmiger Diamant-Eindringkörper (Scheitelwinkel 136°) mit einer bestimmten Last (üblicherweise 5–100 kgf, der Bereich kann auf 1–120 kgf erweitert werden) in die Materialoberfläche gedrückt. Nach 10–15 Sekunden Haltezeit wird die diagonale Länge des Eindrucks (d, Einheit mm) gemessen, um den Härtewert zu berechnen. Die Formel lautet: $HV = 1,8544 \times F/d^2$, wobei F die aufgebrachte Last (kgf), d die durchschnittliche diagonale Länge des Eindrucks (mm) ist. Das Ergebnis wird in kgf/mm^2 ausgedrückt und üblicherweise direkt als HV-Wert bezeichnet (ISO 6507-1:2018).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Vickers-Härte lässt sich aufgrund ihrer kleinen Eindrücke (Durchmesser 0,01–1 mm), der hohen Genauigkeit (Fehler < 5 %) und des großen Prüfbereichs (HV 10–3000+) auf eine Vielzahl von Materialien anwenden, darunter Hartmetall, Stahl, Keramik und Dünnschichtmaterialien. Beispielsweise liegt der HV von herkömmlichem Hartmetall bei 1200–2000, während der von Nano-Hartmetall (Körner 0,05–0,2 µm) 2000–2400 erreichen kann (Journal of Materials Science 2025). Der Vorteil besteht darin, dass winzige Bereiche (wie Beschichtungen) oder dünne Bleche (Dicke > 0,1 mm) geprüft werden können. Allerdings ist die Prüfzeit lang und die Anforderungen an die Oberflächenebenheit sind hoch ($R_a < 0,8 \mu\text{m}$, ITIA 2024).

Rockwellhärte (HRC/HRB)

Die Rockwellhärte (HRC/HRB) ist eine gängige Methode zur Messung der Härte von Materialien. Der Eindringkörper (Diamantkegel oder Stahlkugel) wird mit der Anfangslast (10 kgf) und der Gesamtlast (60–150 kgf) in das Material gedrückt. Der Härtewert wird durch Messung der Differenz der Eindringtiefen bestimmt (ASTM E18-22). Diese Methode zeichnet sich durch schnelles Prüfen, geringe Eindringtiefe und einfache Handhabung aus und wird häufig bei Metallwerkstoffen eingesetzt.

HRC : Verwenden Sie einen Diamantkegel (Scheibenwinkel 120°) mit einer Gesamtlast von 150 kgf, geeignet für Materialien mit hoher Härte (wie gehärtetem Stahl, Hartmetall). Der HRC-Wert berechnet sich nach der Formel: $HRC = 100 - (h/0,002)$, wobei h die Eindringtiefe (mm) ist. Der HRC-Bereich liegt üblicherweise zwischen 20 und 70, z. B. bei Hartmetall HRC 60–70, entsprechend einer Vickershärte HV 1200–2400.

HRB : Verwenden Sie einen 1/16-Zoll-Stahlkugel-Eindringkörper mit einer Gesamtlast von 100 kgf, geeignet für weichere Materialien (wie geglähten Stahl, Kupferlegierungen). Die Berechnungsformel für den HRB-Wert lautet: $HRB = 130 - (h/0,002)$, im Bereich von 20 bis 100. Beispielsweise liegt der HRB-Wert von geglähtem Stahl bei etwa 70 bis 90 (ITIA 2024).

Der Vorteil der Rockwellhärte liegt in der direkten Ablesbarkeit mit hoher Genauigkeit (Fehler < 3%), allerdings ist sie nicht für dünne Materialien oder kleine Flächen geeignet (ISO 6508-1:2016).

Brinellhärte (HB)

Die Brinellhärte (HB) ist eine Methode zur Messung der Härte eines Materials. Dabei wird eine gehärtete Stahlkugel oder eine Wolframkarbidkugel (üblicherweise 2,5, 5 oder 10 mm Durchmesser) unter einer bestimmten Last (F, üblicherweise 500–3000 kgf) in die Materialoberfläche gedrückt, eine bestimmte Zeit (10–30 Sekunden) gehalten und dann der Eindruckdurchmesser (d, in mm) gemessen, um die Härte zu berechnen. Die Formel lautet: $HB = (2F) / (\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}))$, wobei D der Eindruckdurchmesser (mm), F die Last (kgf) und d der Eindruckdurchmesser (mm) ist. Das Ergebnis wird in kgf / mm^2 angegeben (ASTM E10-18).

Die Brinellhärte eignet sich für weichere oder mittelharte Werkstoffe (wie Stahl, Gusseisen,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nichteisenmetalle) und liegt üblicherweise im Bereich von HB 30–650. Beispielsweise liegt die HB von ungehärtetem Stahl bei etwa 120–200, während Hartmetall aufgrund seiner hohen Härte (HV 1200–2400) für dieses Verfahren in der Regel nicht geeignet ist (ITIA 2024). Ihr Vorteil liegt in der großen Eindruckfläche, die der durchschnittlichen Leistung des Materials entspricht. Sie eignet sich für ungleichmäßige Werkstoffe, jedoch nicht für dünne Teile oder Werkstoffe mit hoher Härte (der Fehler beträgt ca. 3–5 %, ISO 6506-1:2014).

Mohshärte

Die Mohshärte ist eine relative Skala zur qualitativen Messung der Härte von Materialien. Sie wurde 1812 vom deutschen Mineralogen Friedrich Mohs vorgeschlagen, um die Härte durch Vergleich der Kratzfestigkeit des Materials zu bestimmen. Die Methode verwendet zehn Standardminerale als Maßstab mit Härtegraden von 1 (weichstes) bis 10 (härtestes): 1 Talk, 2 Gips, 3 Kalzit, 4 Fluorit, 5 Apatit, 6 Orthoklas, 7 Quarz, 8 Topas, 9 Korund, 10 Diamant. Kratzen Sie während des Tests mit einer Standardprobe über die Materialoberfläche. Bleibt ein Abdruck zurück, ist die Härte des Materials geringer als die der Standardprobe.

Die Mohshärte ist einfach und intuitiv zu bestimmen und lässt sich auf Mineralien und einige technische Werkstoffe anwenden. Sie weist jedoch eine geringe Genauigkeit auf und ist nur ein relativer Wert. Beispielsweise liegt die Mohshärte von Hartmetall bei etwa 9–9,5, nahe an der von Korund und deutlich höher als die von Stahl (etwa 5–6) (ITIA 2024). Die Einschränkungen liegen darin, dass der Härteunterschied nicht quantifiziert werden kann (beispielsweise ist der Unterschied zwischen 9 und 10 deutlich größer als der zwischen 1 und 2) und sie nicht für die Prüfung inhomogener Materialien oder dünner Schichten geeignet ist (der Fehler liegt bei etwa $\pm 0,5$).

Beachten Sie bei der Umrechnung die nichtlineare Beziehung: $HV \approx 10 \cdot HRC + 900$ (Fehler < 5 %), HB- und Mohs-Umrechnungsfehler > 10 %. In der Praxis ist HV die Hauptmethode und HRC/HS die Hilfsmethode, um eine Leistungskonsistenz > 95 % $\pm$ 2 % sicherzustellen.

3.1.1.2 Härteprüfverfahren

Die Härteprüfung gewährleistet die Messgenauigkeit durch:

Vickers-Härteprüfung (ISO 3878)

Die Hartlegierung mit 10 % Co (HV 1800 $\pm$ 30) benötigt eine Belastung von 10 kg, eine Eindruckdiagonale von 2030 $\mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$, eine mikroskopische Vergrößerung von 400-fach $\pm$ 10-fach und einen Fehler von <1 % $\pm$ 0,2 %. Die Umgebungstemperatur beträgt 25 °C $\pm$ 2 °C, die Luftfeuchtigkeit <60 % $\pm$ 5 % und die Probenoberfläche Ra <0,2 $\mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$. Beispielsweise besteht die Form mit 15 % TiC (HV 2000 $\pm$ 50) den Vickers-Test und gewährleistet eine Stanzgenauigkeit von <0,01 mm.

Rockwell-Härteprüfung (ISO 6508)

Die Hartlegierung mit 6 % Co (HRC 90 $\pm$ 1) entspricht der HRC-Skala. Die Vorspannung beträgt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10 kg $\pm$ 0,1 kg, die Hauptlast 150 kg $\pm$ 0,1 kg, die Haltezeit 5 s $\pm$ 0,5 s, der Fehler $< 2 \% \pm 0,5 \%$. Geeignet für die Baustelle, z. B. für Werkzeuge mit 8 % Co (HRC 89 $\pm$ 1).

Tragbares Härteprüfgerät (Leeb, ASTM A956)

Hartmetall mit 12 % Co (HS 85 $\pm$ 2) verwendet eine Schlagenergie von 11 N $\cdot$ mm $\pm$ 0,5 N $\cdot$ mm mit einem Fehler von $< 3 \% \pm 0,5 \%$. Geeignet für Bergbaustandorte, z. B. Walzen (HS 87 $\pm$ 2).

Ultraschall-Härteprüfung (ASTM A1038)

Hartmetall mit 8 % Co (HV 1900 $\pm$ 50) verwendet eine Ultraschall-Kontaktimpedanz mit einer Frequenz von 20 kHz $\pm$ 0,5 kHz und einem Fehler von $< 2 \% \pm 0,5 \%$, was für komplexe Formen wie Flugzeugformen geeignet ist.

Nanoindentationsprüfung

Das Hartmetall mit 10 % Co (Härte 20 GPa $\pm$ 1 GPa) verwendet einen Berkovich-Eindringkörper mit einer Last von 10 mN $\pm$ 0,1 mN, einer Eindringtiefe von < 200 nm $\pm$ 10 nm und einem Fehler von $< 5 \% \pm 1 \%$, der für die Beschichtungserkennung geeignet ist.

Der Test erfordert eine Kalibrierung (Standardblockfehler $< 1 \%$) und die Vermeidung von Vibrationen (Beschleunigung $< 0,1$ m/s²). Beispielsweise wird eine Form mit 15 % TiC mittels Vickers und Nanoindentation getestet, um eine Lebensdauer von > 6000 Stunden ± 500 Stunden sicherzustellen.

3.1.1.3 Faktoren, die die Härte beeinflussen

Zusammensetzung von Hartmetall

Mit steigendem Co-Gehalt (6 % bis 20 %) sinkt die Härte von HV 2000 $\pm$ 50 auf HV 1400 $\pm$ 30, da die Weichheit der Co-Phase (HV 300–400) den Verformungswiderstand verringert. Die Zugabe von TiC (10 % bis 15 %) erhöht die Härte auf HV 2000 $\pm$ 50 und die von TaC (1 % bis 2 %) auf HV 1900 $\pm$ 50 aufgrund der Festigung der Mischkristalle (Gitterspannung $< 2 \% \pm 0,2 \%$). Die Härte von Cr₃C₂ (0,5 % bis 1 %) erreicht HV 2200 $\pm$ 50, da Cr-Atome das Gleiten an den Korngrenzen hemmen (Reibungskoeffizient sinkt auf $< 0,2 \pm 0,05$).

Prozess der Hartmetall

Die Sintertemperatur (1400–1500 °C $\pm$ 10 °C) beeinflusst die Dichte der WC-Phase ($> 99 \% \pm 0,1 \%$). Eine zu hohe Temperatur (> 1550 °C) führt zur Verflüchtigung der Co-Phase (Verlust $< 5 \% \pm 1 \%$) und zu einer Härteabnahme um $3 \% \pm 1 \%$. Durch heißisostatisches Pressen (HIP, 100 MPa $\pm$ 5 MPa) werden Poren eliminiert (Porosität $< 0,1 \% \pm 0,02 \%$) und die Härte steigt um $2 \% \pm 0,5 \%$.

Umgebung

Hohe Temperaturen (600–1000 °C) reduzieren die WC-Bindungsenergie (die Bindungslänge steigt um $0,1 \text{ \AA} \pm 0,02 \text{ \AA}$), und die Härte sinkt um $10\text{--}30 \% \pm 2 \%$. Feuchte Hitze (40 °C, 90 % Luftfeuchtigkeit) führt zu Co-Korrosion (Gewichtsverlust $< 0,1$ mg/cm²), und die Härte sinkt um $<$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2 % ± 0,5 %. Extreme Kälte (40 °C) führt zu Co-Versprödung, und die Härte steigt um 1 % ± 0,3 %. Strahlung (10⁴ Gy) verursacht Defekte, und die Härte sinkt um < 1 % ± 0,2 %.

Oberflächenbeschaffenheit von Hartmetall

Eine Oberflächenrauheit ($R_a > 0,4 \mu\text{m}$) verringert die Eindruckgenauigkeit (Fehler $> 2 \% \pm 0,5 \%$); eine Beschichtung (wie etwa Al_2O_3 , $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) erhöht die Oberflächenhärte aufgrund der Druckspannung ($> 500 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$) auf $\text{HV } 2200 \pm 50$.

Beispielsweise behält ein Werkzeug mit 8 % Co und 0,5 % Cr_3C_2 ($\text{HV } 1900 \pm 50$, HIP-Verfahren) eine Härte von $\text{HV } 1850 \pm 30$ und eine Lebensdauer von $> 15 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$ beim Nass-Warmschneiden (40 °C, 90 % Luftfeuchtigkeit). Zur Optimierung sind ein Verfahren mit niedrigem Co-Gehalt (6 %–8 %) und hoher Dichte erforderlich.

3.1.2 Zähigkeit von Hartmetall

Die Zähigkeit von Hartmetall beschreibt die Widerstandsfähigkeit gegen Rissausbreitung und Bruch und ist ein wichtiger Leistungsindikator für die Schlagfestigkeit und Zuverlässigkeit von Werkstoffen. Da Hartmetall Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt (Co) oder Nickel (Ni) als Bindephase verwendet wird, wird seine Zähigkeit hauptsächlich durch Korngröße, Bindephasengehalt, Mikrostruktur und Herstellungsverfahren beeinflusst.

Definition der Bruchzähigkeit

Die Bruchzähigkeit (KIC) ist die Fähigkeit von Hartmetall, der Rissausbreitung zu widerstehen. Sie wird üblicherweise in $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ ausgedrückt und spiegelt die Bruchfestigkeit des Materials wider, wenn es dem Spannungsintensitätsfaktor an der Rissspitze ausgesetzt wird (ASTM E399).

Bruchzähigkeitsbereich

Herkömmliches Hartmetall (Korngröße 1–5 μm) hat je nach Co-Gehalt einen KIC von 8–15 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. Feinkörniges (0,5–1 μm) und ultrafeinkörniges (0,2–0,5 μm) Hartmetall hat einen KIC von 7–12 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, und der Rissausbreitungspfad ist aufgrund der vergrößerten Korngrenzenfläche komplizierter (Journal of the Chinese Society of Nonferrous Metals 2024). Nanoskaliges Hartmetall (0,05–0,2 μm) hat einen KIC von 6–9 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, mit geringerer Zähigkeit und Spannungskonzentration aufgrund der feinen Körner (ITIA 2024).

Faktoren, die die Bruchzähigkeit beeinflussen

Bindephasengehalt

Wenn der Co-Gehalt von 6 % auf 15 % steigt, kann der KIC um 20–30 % erhöht werden (von 8 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ auf 10–12 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$), da Co als plastischer Puffer dient.

Körnung

Die Korngröße wird von 5 μm auf 0,2 μm reduziert, der KIC sinkt um etwa 15–20 %, aber die Verschleißfestigkeit wird verbessert.

Mikroskopische Defekte

Porosität oder Risse reduzieren den KIC um 5–10 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendung zur Bruchzähigkeit

Die Bruchzähigkeit ist ein wichtiger Indikator zur Bewertung der Absplitterungsfestigkeit von Werkzeugen und der Schlagfestigkeit von Formen. Beispielsweise kann beim Hochgeschwindigkeitsschneiden (200 m/min) die Lebensdauer von Hartmetall mit $KIC > 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 2–3 Stunden erreichen (Journal of Materials Science 2025).

Definition der Schlagzähigkeit

cm^2 durch Charpy- oder Izod-Schlagversuch (ASTM E23).

Bruchzähigkeitsbereich:

Bei grobkörnigem Hartmetall ($>5 \mu\text{m}$) liegt die Strahlungsleistung aufgrund der großen Korngröße und der gleichmäßigen Co-Verteilung bei $10\text{--}20 \text{ J/cm}^2$.

Bei fein- und ultrafeinkörnigen Hartmetallen beträgt die Zähigkeit $5\text{--}12 \text{ J/cm}^2$, wobei mit abnehmender Korngröße die Zähigkeit abnimmt.

Die Schlagzähigkeit von Nano-Hartmetall beträgt weniger als 5 J/cm^2 und seine Schlagfestigkeit ist relativ gering.

Faktoren, die die Bruchzähigkeit beeinflussen:

Co-Gehalt: Wenn der Co-Gehalt von 6 % auf 12 % steigt, erhöht sich die Schlagzähigkeit um etwa 30–40 %, da die Co-Phase die Energieabsorption verbessert.

Sinterprozess: Heißisostatisches Pressen (HIP) reduziert die Porosität und verbessert die Schlagzähigkeit um 10–15 %.

Umgebungstemperatur: Bei niedrigen Temperaturen ($-50 \text{ }^\circ\text{C}$) nimmt die Schlagzähigkeit um etwa 20–25 % ab und Materialien mit hohem Co-Gehalt sind stabiler.

Anwendung: Die Schlagzähigkeit eignet sich für Bergbaubohrer und Stanzwerkzeuge. Bei hochfrequenten Stößen ($> 2000 \text{ Mal/Minute}$) kann die Materiallebensdauer mit einer Zähigkeit von $> 10 \text{ J/cm}^2$ 200–300 Stunden erreichen.

Definition der Dauerfestigkeit

Die Dauerzähigkeit beschreibt die Fähigkeit von Hartmetall, dem Risswachstum unter zyklischer Belastung zu widerstehen und wird üblicherweise durch die Ermüdungsrisswachstumsrate (da/dN , m/Zyklus) oder die Dauerfestigkeit (MPa) charakterisiert (ASTM E647).

Dauerzähigkeitsbereich:

Die Dauerfestigkeit von herkömmlichem Hartmetall liegt bei 800 bis 1.200 MPa, und die Wachstumsrate von Ermüdungsrissen beträgt etwa 10^{-6} bis 10^{-5} m/Zyklus .

Aufgrund der Konzentration der Korngrenzenspannung wird die Dauerfestigkeit von nanoskaligem Hartmetall auf 600–900 MPa reduziert und die Ausdehnungsrate auf $10^{-5}\text{--}10^{-4} \text{ m/Zyklus}$ erhöht.

Faktoren, die die Dauerzähigkeit beeinflussen:

Oberflächenqualität: Oberflächenrauheit $Ra > 0,8 \mu\text{m}$, die Lebensdauer verringert sich um 20–30 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Defekte: Porosität oder amorphe Phase reduzieren die Dauerfestigkeit um 10–15 %.

Beschichtung: Eine PVD-TiAlN-Beschichtung kann die Lebensdauer um etwa 15–20 % erhöhen, da sie die Entstehung von Oberflächenrissen verringert.

Anwendung der Dauerfestigkeit

Die Dauerfestigkeit ist für zyklisch belastete Werkzeuge (wie etwa Fräser) von entscheidender Bedeutung, bei denen die Lebensdauer bei 10^7 Zyklen (500 MPa) 1000–1500 Stunden erreichen kann.

Definition der thermischen Zähigkeit

Die Warmzähigkeit spiegelt die Rissbeständigkeit von Hartmetall bei thermischen Zyklen oder Thermoschocks bei hohen Temperaturen wider und wird üblicherweise durch die thermische Ermüdungslebensdauer (Anzahl der Zyklen) oder die Hochtemperatur-Bruchzähigkeit (KIC, 1000 °C) charakterisiert (ASTM E1830).

Thermischer Zähigkeitsbereich

Die thermische Ermüdungslebensdauer von herkömmlichem Hartmetall beträgt das 500- bis 1000-fache (500 °C) und der Hochtemperatur-KIC beträgt $6\text{--}10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

mit TaC oder TiC kann das 1000- bis 1500-fache erreicht werden, und der Hochtemperatur-KIC beträgt $7\text{--}12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Faktoren, die die thermische Zähigkeit beeinflussen

Fehlanpassung der Wärmeausdehnung: Die Fehlanpassung zwischen WC ($5,2 \times 10^{-6} / \text{K}$) und Co ($12 \times 10^{-6} / \text{K}$) führt zu thermischer Spannung und einer Verringerung der Zähigkeit um 10–15 %.

Hochtemperaturoxidation: 1000 °C Oxidationsgewichtszunahme $> 0,1 \text{ mg/cm}^2$, thermische Zähigkeit um etwa 20 % verringert.

Korngröße: Nanoskalige Materialien weisen konzentrierte thermische Spannungen auf und ihre thermische Zähigkeit nimmt um etwa 15–20 % ab.

Anwendung der thermischen Zähigkeit

Die thermische Zähigkeit ist für das Schneiden bei hohen Temperaturen geeignet (z. B. Flugzeugtriebwerksteile, 250 m/min) und die Lebensdauer kann 2–3 Stunden erreichen.

5. Schlüsselfaktoren, die die Resilienz beeinflussen

Zusammensetzung der Bindungsphase: Ni- oder Co-Cr-Legierung ersetzt reines Co und die Zähigkeit wird um 5–10 % verbessert, da die Ni-Phase eine starke Korrosionsbeständigkeit aufweist (Korrosionsrate $< 0,03 \text{ mm/Jahr}$, ASTM G31).

Mikrostruktur: Die η -Phase oder der freie Kohlenstoff verringern die Zähigkeit um 5–15 %, und durch heißisostatisches Pressen (HIP) können etwa 10 % der Zähigkeit wiederhergestellt werden.

Prozessoptimierung: Durch Zugabe von Korninhibitoren (z. B. VC 0,2–0,5 %) kann die Zähigkeit um 5–8 % erhöht werden (ITIA 2024).

Die Bruchzähigkeit (K_{IC}) von Hartmetall beträgt $820 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ und ist damit besser als bei

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Keramik (K_{Ic} 35 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) und Siliziumnitrid (K_{Ic} 68 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), aber etwas niedriger als bei hochfestem Stahl (K_{Ic} 2030 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), sodass es hohen Schlagbelastungen standhält, wie sie beim Bohren und Stanzen in Gestein auftreten. Die Zähigkeit entsteht durch die plastische Verformung der Co-Phase (Dehnung $< 5\% \pm 0,5\%$, Streckgrenze $> 500 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$), wobei Energie durch Rissablenkung (Winkel $> 30^\circ \pm 5^\circ$) und Überbrückung (Überbrückungskraft $> 10 \text{ MPa} \pm 2 \text{ MPa}$) abgeleitet wird. Der K_{Ic} -Wert von Hartmetall mit 12 % Co beträgt $15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,3$ und der von Hartmetall mit 6 % Co beträgt $10 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,2$.

Der Co-Gehalt bestimmt die Zähigkeit. Steigt der Co-Gehalt von 6 % auf 20 %, erhöht sich der K_{Ic} -Wert von 8 auf 18 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$. Grund dafür ist die erhöhte Energieabsorption (dissipierte Energie $> 50 \text{ J/m}^2 \pm 5 \text{ J/m}^2$) des Co-Phasennetzwerks (Dicke $1030 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$, siehe Kapitel 2). Die Zugabe von TaC (1 % 2 %) erhöht die Korngrenzenfestigkeit ($> 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$), der K_{Ic} -Wert steigt auf $14 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$ und die Rissausdehnungstiefe beträgt $< 10 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$.

Der Hartmetallbohrer mit 12 % Co und 1 % TaC hat eine Risslänge von $< 5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ und eine Lebensdauer von $> 250 \text{ h} \pm 20 \text{ h}$ beim Bohren in Granit (Schlagfrequenz $> 2000 \text{ Mal/min}$, Belastung $> 3000 \text{ MPa}$, Schlagenergie $> 100 \text{ J} \pm 10 \text{ J}$), was besser ist als die eines Keramikbohrers (Lebensdauer $< 50 \text{ h}$, Riss $> 20 \mu\text{m}$).

und feuchter Umgebung (40°C , 90 % Luftfeuchtigkeit, 168 Stunden) sinkt K_{Ic} aufgrund von Co-Phasenkorrosion (Tiefe $< 2 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$, Gewichtsverlust $< 0,2 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,05 \text{ mg/cm}^2$) um $5\% \pm 1\%$. Bei extremer Kälte (40°C) sinkt K_{Ic} aufgrund von Co-Versprödung (Umwandlung von Zähigkeit in Festigkeit, Dehnungsabfall $< 3\% \pm 0,3\%$) um $3\% \pm 0,5\%$. Hoher Druck ($> 100 \text{ MPa}$, Tiefsee) verbessert die Korngrenzenbindung, K_{Ic} steigt um $2\% \pm 0,3\%$. Strahlung (10^4 Gy) induziert Co-Phasendefekte (Leerstellendichte $< 10^{15} / \text{cm}^3$) und K_{Ic} sinkt um $<$

Ni-haltiges Hartmetall (12 % Ni, K_{Ic} $13 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,3$) ist in Meeresumgebungen (Salzgehalt 3,5 %, O_2 8 mg/l) stabiler und weist einen K_{Ic} -Abfall von $< 2\%$ auf. Beispielsweise werden Ni-haltige Gesteinsbohrwerkzeuge in einer heißen und feuchten Mine (pH-Wert 6, Luftfeuchtigkeit 90 %, Temperatur 40°C) mit einem K_{Ic} von $12 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,3$ und einer um $30\% \pm 5\%$ erhöhten Lebensdauer eingesetzt, was besser ist als bei Co-haltigen Materialien (Lebensdauerverkürzung von $10\% \pm 2\%$).

Zur Optimierung der Zähigkeit ist eine ausgewogene Härte erforderlich. Ein hoher Co-Gehalt ($> 15\%$) erhöht den K_{Ic} -Wert auf $18 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, die Härte sinkt jedoch auf $\text{HV } 1400 \pm 30$. Durch Zugabe von NbC (0,5 %/1 %) wird der K_{Ic} -Wert durch Verfeinerung des Rissverlaufs (Rissbreite $< 1 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$) auf $15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$ erhöht, die Härte bleibt jedoch bei $\text{HV } 1800 \pm 30$.

Beim Hochfrequenzstanzen ($> 10^4 \text{ Mal/Stunde}$, Belastung $> 2000 \text{ MPa}$) weisen beispielsweise Hartmetallmatrizen mit 10 % Co und 0,5 % NbC eine Verformung von $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, eine Rissrate von $< 0,5\%$ und eine Lebensdauer von $> 6000 \text{ Stunden} \pm 500 \text{ Stunden}$ auf, was besser ist als bei Stahlmatrizen (Verformung $> 0,05 \text{ mm}$, Lebensdauer $< 2000 \text{ Stunden}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bereichsübergreifende Vergleiche zeigen, dass Hartmetall eine bessere Zähigkeit als Keramik und Aluminiumoxid ($K_{Ic} < 5 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) aufweist, aber in Bezug auf die Schlagzähigkeit ($K_{Ic} > 50 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$) zähem Stahl unterlegen ist.

3.1.2.1 Zähigkeitsprüfverfahren

Durch Zähigkeitsprüfungen wird die Rissbeständigkeit sichergestellt. Zu den Methoden gehören:

Einkantiger Kerbträger (SENB, ASTM E399)

Hartmetall mit 12 % Co ($K_{Ic} 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,3$) wird dreipunktgebogen. Probe $4 \times 4 \times 20 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, Kerbtiefe $2 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, Spannweite $20 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, Belastungsgeschwindigkeit $0,1 \text{ mm/min} \pm 0,01 \text{ mm/min}$, Fehler $< 2 \% \pm 0,5 \%$. Umgebungsbedingungen: $25^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$, Luftfeuchtigkeit $< 60 \% \pm 5 \%$.

Chevron-Kerbversuch (ASTM E1304): Hartmetall mit 6 % Co ($K_{Ic} 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,2$) verwendet eine V-Kerbe, Probe $5 \times 5 \times 25 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, Belastungsrate $0,05 \text{ mm/min} \pm 0,005 \text{ mm/min}$, Fehler $< 3 \% \pm 0,5 \%$, geeignet für kleine Proben.

Schlagzähigkeitsprüfung (ISO 148)

Die Hartlegierung mit 15 % Co (Schlagenergie $> 20 \text{ J} \pm 2 \text{ J}$) wurde einem Charpy-Schlagtest unterzogen. Die Probe hatte die Abmessungen $10 \times 10 \times 55 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, eine Pendelenergie von $300 \text{ J} \pm 5 \text{ J}$ und einen Fehler von $< 5 \% \pm 1 \%$, was für die Prüfung von Bergbauwerkzeugen geeignet ist.

Simulation der Bruchmechanik: Für Hartmetall mit 10 % Co wurde eine Finite-Elemente-Analyse (ANSYS, Maschenweite $< 0,1 \text{ mm}$, Rissausdehnungsfehler $< 0,05 \text{ mm}$) verwendet, um K_{Ic} (Fehler $< 5 \% \pm 1 \%$) vorherzusagen, was für komplexe Spannungsanalysen geeignet ist.

Mikrorissanalyse

TaC-haltige Risse (Risstiefe $< 10 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$) wurden mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM, Auflösung $< 5 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$) ausgewertet (Fehler $< 5 \% \pm 1 \%$).

Beispielsweise besteht ein Bohrer mit 12 % Co und 1 % TaC den SENB-Test ($K_{Ic} 14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) und weist eine Schlagfestigkeit von $> 250 \text{ h} \pm 20 \text{ h}$ und eine per SEM nachgewiesene Risslänge von $< 5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ auf.

3.1.2.2 Übersicht über die Einflussfaktoren auf die Zähigkeit

Die Resilienz wird beeinflusst durch:

Element

Eine Erhöhung des Co-Gehalts von 6 % auf 20 % erhöht K_{Ic} von 8 auf $18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ aufgrund der Plastizität der Co-Phase (Schermodul $80 \text{ GPa} \pm 5 \text{ GPa}$), die die Rissableitung verbessert (Energie $> 50 \text{ J/m}^2 \pm 5 \text{ J/m}^2$). Ein Ersatz von Co durch Ni (12 % Ni, $K_{Ic} 13 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,3$) verringert die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zähigkeit aufgrund der geringen Plastizität von Ni (Dehnung $< 4 \% \pm 0,5 \%$). Durch Zugabe von TaC ($1 \% \pm 0,5 \%$) wird K_{Ic} aufgrund einer Korngrenzenverstärkung (Bindungsfestigkeit $> 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) auf $14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ erhöht.

Technologie

Die Sinterzeit ($24 \text{ h} \pm 0,1 \text{ h}$, $1450 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$) erhöht die Gleichmäßigkeit der Co-Phase (Verteilungsfehler $< 5 \% \pm 1 \%$) und der K_{Ic} -Wert steigt um $5 \% \pm 1 \%$. Zu hohe Temperaturen ($> 1550 \text{ }^\circ\text{C}$) führen zur Co-Verflüchtigung und der K_{Ic} -Wert sinkt um $3 \% \pm 1 \%$. HIP ($100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) reduziert Defekte (Porosität $< 0,1 \% \pm 0,02 \%$) und der K_{Ic} -Wert steigt um $3 \% \pm 0,5 \%$.

Umfeld

Bei feuchter Hitze ($40 \text{ }^\circ\text{C}$, 90% Luftfeuchtigkeit) sinkt K_{Ic} aufgrund von Co-Korrosion (Gewichtsverlust $< 0,2 \text{ mg/cm}^2$) um $5 \% \pm 1 \%$, bei extremer Kälte ($40 \text{ }^\circ\text{C}$) sinkt K_{Ic} aufgrund von Co-Versprödung um $3 \% \pm 0,5 \%$, bei hohem Druck ($> 100 \text{ MPa}$) steigt K_{Ic} aufgrund verstärkter Bindung um $2 \% \pm 0,3 \%$, bei Strahlung (10^4 Gy) sinkt K_{Ic} aufgrund von Defekten um $< 2 \% \pm 0,3 \%$.

Stresszustand

Wenn die Aufprallfrequenz ($> 2000 \text{ Mal/min}$) Ermüdungsrisse (Länge $> 5 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$) verursacht, sinkt K_{Ic} um $5 \% \pm 1 \%$; unter statischer Belastung ($< 3000 \text{ MPa}$) ist K_{Ic} stabil.

Ein Bohrmeißel mit $12 \% \text{ Co}$ und HIP-Verfahren ($K_{Ic} 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,3$) wird in einer heißen und feuchten Mine ($40 \text{ }^\circ\text{C}$, 90% Luftfeuchtigkeit) eingesetzt, der K_{Ic} -Wert wird bei $14 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,3$ gehalten und die Lebensdauer beträgt $> 250 \text{ Std.} \pm 20 \text{ Std.}$. Zur Optimierung sind hohe Co- ($12 \% - 15 \%$) und TaC-Zusätze erforderlich.

3.1.3 Festigkeit von Hartmetall

Die Festigkeit von Hartmetall gibt an, wie gut es Verformungen oder Brüchen durch äußere Kräfte standhält. Sie ist ein wichtiger Indikator für die Tragfähigkeit und Haltbarkeit des Materials. Da Hartmetall Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt (Co) oder Nickel (Ni) als Bindephase verwendet, wird seine Festigkeit durch Korngröße, Bindephasengehalt und Mikrostruktur beeinflusst. Im Folgenden werden die wichtigsten Festigkeitsarten von Hartmetall und ihre detaillierten Beschreibungen beschrieben.

3.1.3.1 Querbruchfestigkeit (TRS)

Definition

Die Biegefestigkeit ist die Widerstandsfähigkeit von Hartmetall gegen Bruch in einem Drei- oder Vierpunktbiegeversuch. Sie wird in MPa gemessen und gibt die Tragfähigkeit des Materials unter komplexer Belastung an.

Umfang

Die Festigkeit von herkömmlichem Hartmetall (Korngröße $1 - 5 \text{ } \mu\text{m}$) beträgt $1800 - 2500 \text{ MPa}$ und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

der Co-Gehalt liegt bei 6–15 %.

feinkörniges (0,5–1 µm) und ultrafeinkörniges (0,2–0,5 µm) Hartmetall beträgt 1700–2200 MPa. Die Festigkeit von Hartmetall in Nanogröße (0,05–0,2 µm) beträgt 1600–1900 MPa, die Festigkeit ist jedoch aufgrund der Spannungskonzentration an den Korngrenzen reduziert.

Leistungsmerkmale

Die Biegefestigkeit beträgt üblicherweise 4000–4500 MPa ± 100 MPa und ist damit besser als bei hochfestem Stahl (~ 1500 MPa), Keramik (~ 1000 MPa) und Titanlegierungen (~ 800 MPa). Sie eignet sich für komplexe Spannungsbedingungen wie Stanzen und die Luftfahrtverarbeitung. Die Co-Phase hemmt die Rissausbreitung (Rissgeschwindigkeit < 10⁻⁵ m/s ± 10⁻⁶ m/s) durch plastische Verformung (Dehnung < 5 % ± 0,5 %, Scherspannung < 100 MPa ± 10 MPa). Beispielsweise beträgt die Biegefestigkeit von Hartmetall mit 10 % Co 4200 MPa ± 100 MPa, während die von Hartmetall mit 15 % Co auf 4000 MPa ± 100 MPa sinkt.

Anwendung

von Hartmetallmatrizen mit 8 % Co beim Stanzen von Stahlblechen im Automobilbereich (Belastung > 2000 MPa, Frequenz > 10⁴-mal/Stunde, Blechdicke 2 mm ± 0,1 mm) beträgt < 0,5 % und die Lebensdauer beträgt > 6000 Stunden ± 500 Stunden, was besser ist als die von Stahlmatrizen (Bruchrate > 5 %, Lebensdauer < 2000 Stunden).

mit 10 % Co und 1 % TaC hat eine Bruchrate von < 1 % und eine Lebensdauer von > 12 Stunden ± 1 Stunde beim Schneiden von Titanlegierungen für die Luftfahrt (Spannung > 2000 MPa, Schnittgeschwindigkeit 150 m/min), was besser ist als bei Keramikwerkzeugen (Lebensdauer < 4 Stunden).

Einflussfaktoren

Co-Inhalt

Bei einer Erhöhung von 6 % auf 15 % sinkt die Festigkeit von 4500 auf 4000 MPa ± 100 MPa, da die Co-Phase die Steifigkeit verringert; durch Zugabe von NbC (0,5 %–1 %) wird sie durch Mischkristallverfestigung (Korngrenzenfestigkeit > 50 MPa ± 5 MPa) auf 4600 MPa ± 100 MPa erhöht.

Technologie

Die Sintertemperatur (1450 °C ± 10 °C) gewährleistet eine WC-Co-Bindung (Bindungsstärke > 50 MPa ± 5 MPa) und die Festigkeit steigt um 3 % ± 0,5 %; HIP (100 MPa ± 5 MPa) beseitigt Risse (< 5 µm ± 1 µm) und die Festigkeit steigt um 5 % ± 1 %; die Abkühlrate (> 10 °C/min) induziert Spannungen (> 100 MPa ± 10 MPa) und die Festigkeit sinkt um 2 % ± 0,3 %.

Umfeld

Hohe Temperatur (800 °C) durch Co-Erweichung (Verringerung der Streckgrenze um < 400 MPa ± 20 MPa), Rückgang auf 3800 MPa ± 100 MPa (Verringerung um < 10 %); feuchte Hitze (40 °C, 90 % Luftfeuchtigkeit, 168 Stunden) durch Co-Korrosion (Gewichtsverlust < 0,1 mg/cm² ± 0,02 mg/cm²), Rückgang um 5 % ± 1 %; hoher Druck (> 100 MPa) Anstieg um 2 % ± 0,3 %; extreme Kälte (-40 °C)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anstieg um $3\% \pm 0,5\%$; Strahlung (10^4 Gy) Rückgang um $<1\% \pm 0,2\%$. Enthält Cr ($0,5\% - 1\%$), bildet eine Cr_2O_3 -Schutzschicht (Dicke $<5\text{ nm} \pm 1\text{ nm}$), feuchte Hitze Rückgang um $<2\%$.

Probengeometrie

Bei Dicken $> 4\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$ verringert sich die Spannungskonzentration (Koeffizient $< 1,2 \pm 0,1$) und die Festigkeit steigt um $2\% \pm 0,3\%$; Oberflächendefekte ($R_a > 0,4\text{ }\mu\text{m}$) führen zu Rissen und verringern die Festigkeit um $3\% \pm 0,5\%$.

Nachweismethoden

Dreipunktbiegung (ISO 3327)

Probe $4 \times 4 \times 40\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$, Spannweite $20\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$, Belastungsrate $0,2\text{ mm/min} \pm 0,02\text{ mm/min}$, Fehler $<2\% \pm 0,5\%$, Umgebung $25\text{ }^\circ\text{C} \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$.

Vierpunktbiegung (ASTM C1161)

Die Probe ist $3 \times 4 \times 45\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$ groß, der Lastpunkt Abstand beträgt $10\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$ und der Fehler liegt bei $<3\% \pm 0,5\%$, was für eine gleichmäßige Spannungsanalyse geeignet ist.

Ultraschallprüfung (ASTM E588)

Longitudinalwelle (Frequenz $5\text{ MHz} \pm 0,1\text{ MHz}$, Wellengeschwindigkeit $6\text{ km/s} \pm 0,1\text{ km/s}$), Risse erkennen ($<5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$), Fehler $<5\% \pm 1\%$.

Digitale Bildkorrelation (DIC)

Dehnungsfehler $<0,1\% \pm 0,02\%$, hochauflösende Kamera (Auflösung $<5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$), Bruchdehnungsanalyse, Fehler $<5\% \pm 1\%$.

3.1.3.2 Druckfestigkeit

Definition: Die Druckfestigkeit ist die Fähigkeit von Hartmetall, Druckverformungen oder -schäden zu widerstehen, gemessen in MPa, und spiegelt die Tragfähigkeit des Materials unter hoher Belastung wider.

Umfang

Die Druckfestigkeit von Hartmetall beträgt üblicherweise $4000 - 6000\text{ MPa} \pm 100\text{ MPa}$ und ist damit viel höher als bei hochfestem Stahl ($\sim 2000\text{ MPa}$), Keramik ($\sim 3000\text{ MPa}$) und Titanlegierungen ($\sim 1000\text{ MPa}$) und eignet sich für Hochbelastungsbedingungen wie Tiefseebohrungen und Extrusion. Nanoskalige Materialien können $5000 - 6500\text{ MPa} \pm 100\text{ MPa}$ erreichen, was durch Kornverfeinerung noch verstärkt wird.

Leistungsmerkmale

Die Druckfestigkeit wird durch die Steifigkeit von WC (Poissonzahl $0,2 \pm 0,02$, Elastizitätsmodul $700\text{ GPa} \pm 10\text{ GPa}$) bestimmt, und die Co-Phase baut Spannungskonzentrationen ab (Spannungsabbau $> 20\% \pm 2\%$, Scherspannung $< 100\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$). Beispielsweise beträgt die Druckfestigkeit von Hartmetall mit $10\% \text{ Co}$ $4500\text{ MPa} \pm 100\text{ MPa}$, und die von Hartmetall mit $6\% \text{ Co}$ erreicht $4700\text{ MPa} \pm 100\text{ MPa}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendung

Der Hartmetallbohrer mit 6 % Co hat eine Verformung von $<0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$ und eine Lebensdauer von $>300 \text{ Stunden} \pm 20 \text{ Stunden}$ beim Bohren in hartem Gestein (Spannung $> 3000 \text{ MPa}$, Gesteinhärte $> 1000 \text{ MPa}$, Bohrgeschwindigkeit $> 10 \text{ m/h} \pm 1 \text{ m/h}$), was besser ist als die von Stahlbohrern (Verformung $> 0,05 \text{ mm}$, Lebensdauer $< 100 \text{ Stunden}$).

Die Verformung der Cr-haltigen Hartmetallwalze (0,5–1 %) beim Erzbrechen (Belastung $> 4000 \text{ MPa}$, Partikelgröße $< 10 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$) beträgt $< 0,003 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$ und die Lebensdauer erhöht sich um $35 \% \pm 5 \%$.

Die Extrusionsdüse mit 8 % Co weist eine Verformung von $<0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$ und eine Lebensdauer von $>5000 \text{ Stunden} \pm 500 \text{ Stunden}$ bei der Verarbeitung einer Aluminiumlegierung (600°C , Belastung $>4000 \text{ MPa}$, Extrusionsgeschwindigkeit $>5 \text{ m/min} \pm 0,5 \text{ m/min}$) auf, was besser ist als die einer Stahldüse (Lebensdauer $<1000 \text{ Stunden}$).

Einflussfaktoren

Element

Wenn der Co-Gehalt von 6 % auf 20 % steigt, sinkt die Festigkeit von $4700 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ auf $4100 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, weil die Co-Phase die Steifigkeit verringert (Elastizitätsmodul $200 \text{ GPa} \pm 10 \text{ GPa}$); Cr (0,5 %–1 %) steigt auf $4800 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, weil die CrCo-Feststofflösung verbessert wird (Bindungsfestigkeit $>60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$); TiC (10 %–15 %) sinkt auf $4300 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, weil die Dichte abnimmt ($<13 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$).

Technologie

Sinterdruck ($510 \text{ MPa} \pm 0,5 \text{ MPa}$) verbessert die Dichte ($> 99 \% \pm 0,1 \%$) und die Festigkeit erhöht sich um $3 \% \pm 0,5 \%$; HIP ($100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) beseitigt Poren (Porosität $< 0,1 \% \pm 0,02 \%$) und erhöht die Festigkeit um $5 \% \pm 1 \%$; zu hohe Temperaturen ($> 1550^\circ\text{C}$) verursachen WC-Zersetzung (Kohlenstoffverlust $< 1 \% \pm 0,2 \%$) und verringern die Festigkeit um $3 \% \pm 0,5 \%$.

Umfeld

Hohe Temperaturen (800°C) sanken auf $4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ (Abnahme um $< 10 \%$) aufgrund reduzierter Bindungsenergie (Bindungslänge nahm um $0,1 \text{ \AA} \pm 0,02 \text{ \AA}$ zu); feuchte Hitze (40°C , 90 % Luftfeuchtigkeit, 168 Stunden) sank um $3 \% \pm 0,5 \%$ aufgrund von Co-Mikrokorrosion (Gewichtsverlust $< 0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,02 \text{ mg/cm}^2$); extreme Kälte (-40°C) stieg um $2 \% \pm 0,3 \%$ aufgrund erhöhter WC-Steifigkeit; hoher Druck ($> 100 \text{ MPa}$, Tiefsee) stieg um $3 \% \pm 0,5 \%$; Strahlung (10^4 Gy) sank um $< 1 \% \pm 0,2 \%$. Ni-haltig (12 % Ni, $4500 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$) ist in der Meeresumwelt (Salzgehalt 3,5 %, Druck 50 MPa) stabiler, mit einer Abnahme von $<1 \%$.

Ladegeschwindigkeit

Eine hohe Geschwindigkeit ($> 1 \text{ mm/min}$) führt zu Mikrorissen (Länge $< 5 \text{ }\mu\text{m} \pm 1 \text{ }\mu\text{m}$) mit einer Verringerung von $2 \% \pm 0,3 \%$; eine niedrige Geschwindigkeit ($< 0,5 \text{ mm/min}$) hält die Festigkeit stabil.

Nachweismethoden

Kompression zylindrischer Proben (ASTM C773)

Der Probendurchmesser beträgt $10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, die Höhe $20 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, die Kompressionsrate

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,5 mm/min $\pm$ 0,05 mm/min, der Fehler $< 2 \% \pm 0,5 \%$, die Umgebungstemperatur $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ und die Oberfläche $R_a < 0,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,05\text{ }\mu\text{m}$.

Statischer Belastungstest

Zum Einsatz kommt eine servohydraulische Presse (Lastgenauigkeit $\pm 1\text{ kN}$, Maximallast 5000 kN $\pm 10\text{ kN}$) mit einem Fehler von $< 3 \% \pm 0,5 \%$, die für große Proben geeignet ist.

Zerstörungsfreie Prüfung (Ultraschall, ASTM E494)

Fehlererkennung mittels Längswellen (Wellengeschwindigkeit $6\text{ km/s} \pm 0,1\text{ km/s}$, Frequenz $5\text{ MHz} \pm 0,1\text{ MHz}$), Fehler $< 5 \% \pm 1 \%$, geeignet für die Erkennung vor Ort.

Finite-Elemente-Simulation

Zur Vorhersage der Festigkeit wurde ANSYS (Maschenweite $< 0,1\text{ mm}$, Spannungsfehler $< 10\text{ MPa}$) mit einem Fehler von $< 5 \% \pm 1 \%$ verwendet.

3.1.3.3 Zugfestigkeit

Definition

Die Zugfestigkeit ist die Fähigkeit von Hartmetall, Zugbrüchen zu widerstehen und wird in MPa gemessen, ist aber aufgrund seiner Sprödigkeit normalerweise gering.

Umfang

Die Zugfestigkeit von herkömmlichem Hartmetall beträgt 800–1200 MPa und wird durch die Schwächung der Korngrenzen begrenzt.

Materialien im Nanomaßstab können 1000–1400 MPa erreichen und Spuren von Ni verbessern die Zähigkeit.

Einflussfaktoren

Eine Erhöhung des Co-Gehalts (z. B. 6 % bis 15 %) verbessert das Produkt um etwa 10–15 %, Defekte (z. B. Poren) verringern sich um etwa 5–10 %.

Anwendung

Geeignet für Teile mit geringer Zugbelastung, wie beispielsweise Drahtziehsteine und Mikroziehteile.

3.1.3.4 Dauerfestigkeit

Definition

Die Dauerfestigkeit ist die Fähigkeit von Hartmetall, einem Ermüdungsbruch unter zyklischer Belastung zu widerstehen, gemessen in MPa.

Umfang

Die Dauerfestigkeit von herkömmlichem Hartmetall liegt bei 800–1200 MPa, 10^7 Zyklen.

Bei nanoskaligen Materialien wird die Elastizität aufgrund der Konzentration der Korngrenzenspannung auf 600–900 MPa reduziert.

Einflussfaktoren

Eine Oberflächenrauheit von $R_a > 0,8\text{ }\mu\text{m}$ verringert die Ermüdungslebensdauer um 20–30 %, eine Beschichtung (wie etwa TiAlN) erhöht sie um etwa 15–20 %.

Anwendung

Geeignet für zyklisch belastete Werkzeuge, wie beispielsweise Fräser, mit einer Lebensdauer von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

1000-1500 Stunden.

3.1.3.5 Zusammenfassung der Einflussfaktoren

Bindungsphase

Mit steigendem Co-Gehalt steigt die Festigkeit, ein zu hoher Co-Gehalt (>15 %) kann jedoch die Härte verringern.

Körnung

Durch die Verfeinerung der Korngröße (z. B. 0,2 µm) wird die Druckfestigkeit erhöht, jedoch die Biege- und Dauerfestigkeit verringert.

Defekt

Porosität, amorphe Phasen oder Risse reduzieren alle Festigkeitsarten um 5–15 %.

3.1.3.6 Umgebung und Optimierungsvorschläge

Umweltauswirkungen

Hohe Temperaturen (800 °C) verringern die Festigkeit um $10 \% \pm 1 \%$; feuchte Hitze (40 °C, 90 % Luftfeuchtigkeit) verringert die Festigkeit um 3–5 %; hoher Druck (> 100 MPa) erhöht die Festigkeit um 2–3 %; extreme Kälte (-40 °C) erhöht die Festigkeit um 2–3 %; Strahlung (10^4 Gy) verringert die Festigkeit um $< 1 \%$. Hartmetalle mit Ni- oder Cr-Gehalt sind in rauen Umgebungen (z. B. Meerwasser, feuchte Hitze) stabiler.

Optimierungsvorschläge

Verwenden Sie einen niedrigen Co-Gehalt (6–8 %), eine hohe Dichte ($> 99 \% \pm 0,1 \%$) und das HIP-Verfahren. Fügen Sie NbC oder TaC hinzu, um die Festigkeit zu erhöhen und die Lebensdauer um 30–35 % zu verlängern.

3.2 Thermische Eigenschaften von Hartmetall

Die thermischen Eigenschaften bestimmen die Leistung von Hartmetall beim Schneiden bei hohen Temperaturen, bei thermischen Zyklen und in extremen Temperaturumgebungen. Hartmetall wird häufig in Flugzeugtriebwerken, Gasturbinen und der Kernenergie eingesetzt. In diesem Abschnitt werden Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient, Hochtemperaturstabilität und Thermoschockbeständigkeit analysiert.

3.2.1 Wärmeleitfähigkeit von Hartmetall

Die Wärmeleitfähigkeit von Hartmetall beträgt $80\text{--}120 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ und ist damit höher als bei Keramik ($2030 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) und Aluminiumoxid ($30 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) und niedriger als bei Kupfer ($400 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) und Graphit ($150 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Sie wird durch WC ($110 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, dominiert durch

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

elektronische Wärmeleitfähigkeit) und Co ($70 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, Phononenstreuung $> 20 \% \pm 2 \%$) bestimmt. Die Wärmeleitfähigkeit von Hartmetall mit $10 \% \text{ Co}$ beträgt $100 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, während sie bei $15 \% \text{ Co}$ auf $90 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ sinkt.

Eine hohe Wärmeleitfähigkeit senkt die Werkzeugtemperatur. Beim Hochgeschwindigkeitsschneiden von Aluminiumlegierungen für die Luftfahrt (200 m/min , Wärmestromdichte $> 10 \text{ MW/m}^2 \pm 1 \text{ MW/m}^2$) beträgt die Oberflächentemperatur von Hartmetallwerkzeugen mit $8 \% \text{ Co}$ $< 700^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$, der Verschleiß $< 0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$ und die Lebensdauer $> 12 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$. Damit ist das Werkzeug besser als Keramikwerkzeuge (Temperatur $> 900^\circ\text{C}$, Lebensdauer $< 4 \text{ Stunden}$). Die Zugabe von TiC (15% , Wärmeleitfähigkeit $30 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) reduziert die Wärmeleitfähigkeit auf $85 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, verbessert aber die Hochtemperaturstabilität und eignet sich für Flugzeugdüsen (1100°C , Gasdurchflussrate $> 500 \text{ m/s} \pm 50 \text{ m/s}$). Beispielsweise weist die Düse mit $15 \% \text{ TiC}$ in der Gasturbine eine Temperaturleitfähigkeit von $> 30 \text{ mm}^2/\text{s} \pm 2 \text{ mm}^2/\text{s}$, eine Verformung von $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$ und eine Lebensdauer von $> 6000 \text{ Stunden} \pm 500 \text{ Stunden}$ auf.

Umwelteinflüsse müssen beachtet werden. Bei hohen Temperaturen (800°C) sinkt die Wärmeleitfähigkeit aufgrund von Elektronenstreuung in der Co-Phase (Abnahme der Mobilität $< 10^4 \text{ cm}^2/\text{Vs} \pm 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) auf $90 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (ein Rückgang von $< 10 \%$). Bei feuchter Hitze (40°C , $90 \% \text{ Luftfeuchtigkeit}$, 168 Stunden) sinkt die Wärmeleitfähigkeit aufgrund von Oberflächenoxidation (Oxidationsschicht $< 1 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$) auf $< 2 \% \pm 0,5 \%$. Bei extremer Kälte (40°C) steigt die Wärmeleitfähigkeit aufgrund erhöhter Phononen-Wärmeleitfähigkeit um $1 \% \pm 0,3 \%$. Bei hohem Druck ($> 100 \text{ MPa}$) steigt die Wärmeleitfähigkeit um $2 \% \pm 0,3 \%$. Bei Strahlung (10^4 Gy) sinkt die Wärmeleitfähigkeit um $< 1 \% \pm 0,2 \%$. Ni-haltiges Hartmetall ($12 \% \text{ Ni}$, $95 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) ist in Meeresumgebungen (Salzgehalt $3,5 \%$, Druck 50 MPa) stabiler, mit einer Abnahme von $< 1 \%$.

Beispielsweise blieb die Wärmeleitfähigkeit der Ni-haltigen Form bei $93 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ und die Verformung betrug beim Nassheißprägen (40°C , $90 \% \text{ Luftfeuchtigkeit}$, 600°C) $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, was besser war als die des Co-haltigen Materials (Abnahme $> 3 \% \pm 0,5 \%$).

Die Optimierung der Wärmeleitfähigkeit erfordert einen Ausgleich der Hochtemperaturleistung. Beim thermischen Zyklusschneiden (25.800°C , 1000-mal , Temperaturdifferenz $> 500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) beträgt die Risslänge von Hartmetallwerkzeugen mit $10 \% \text{ Co}$ $< 5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ und ist damit besser als bei Keramik (Riss $> 20 \mu\text{m}$). Ein bereichsübergreifender Vergleich zeigt, dass die Wärmeleitfähigkeit von Hartmetall besser ist als die von Keramik und Titanlegierungen ($20 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), aber schlechter als die von Kupfer und Graphit.

3.2.1.1 Prüfverfahren für die Wärmeleitfähigkeit

Zu den Prüfmethoden für die Wärmeleitfähigkeit gehören:

Laser-Flash-Methode (ASTM E1461)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hartmetall mit 10 % Co ($100 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), Probendurchmesser $12,7 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, Dicke $2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, Laserpulsbreite $0,5 \text{ ms} \pm 0,05 \text{ ms}$, Temperaturleitfähigkeitsfehler $< 1 \% \pm 0,2 \%$ und Gesamtfehler $< 2 \% \pm 0,5 \%$. Die Umgebungstemperatur beträgt $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Stationäre Wärmeflussmethode (ASTM C177)

Hartmetall mit 8 % Co ($98 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) verwendet eine Probe von $50 \times 50 \times 10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, einen Temperaturunterschied von $10 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$, eine Wärmeflussgenauigkeit von $\pm 0,1 \text{ W/m}^2$ und einen Fehler von $< 3 \% \pm 0,5 \%$.

Transiente Heißdrahtmethode (ASTM D5930): Hartmetall mit TiC ($85 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) verwendet eine Heißdrahtleistung von $0,1 \text{ W} \pm 0,01 \text{ W}$, eine Temperaturauflösung von $0,1 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,05 \text{ }^\circ\text{C}$, einen Fehler von $< 5 \% \pm 1 \%$ und ist für ungleichmäßige Materialien geeignet.

Simulation einer Infrarot-Temperaturmessung

Die Wärmestromverteilung von Hartmetall mit 10 % Co (Wärmeleitfähigkeitsfehler $< 5 \% \pm 1 \%$) wurde mit einer Infrarotkamera (Auflösung $< 0,1 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,05 \text{ }^\circ\text{C}$) analysiert (Fehler $< 5 \% \pm 1 \%$).

Beispielsweise wird ein Werkzeug mit 10 % Co mit der Laserblitzmethode ($100 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) getestet, und die Oberflächentemperatur der Infrarotüberprüfung beträgt $< 700 \text{ }^\circ\text{C} \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$, wodurch eine Schnittlebensdauer von $> 12 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$ gewährleistet ist.

3.2.1.2 Faktoren, die die Wärmeleitfähigkeit beeinflussen

Die Wärmeleitfähigkeit wird beeinflusst durch:

Zusammensetzung: Wenn der Co-Gehalt von 10 % auf 15 % steigt, sinkt die Wärmeleitfähigkeit aufgrund der erhöhten Phononenstreuung von Co (Streurate $> 20 \% \pm 2 \%$) von $100 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ auf $90 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Bei TiC (15 %) sinkt sie aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit ($30 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) auf $85 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Bei Ni (12 %) steigt sie aufgrund der höheren elektronischen Wärmeleitfähigkeit (Mobilität $> 1,5 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s} \pm 10^3 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) auf $95 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Prozess: Die Sintertemperatur ($1450 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$) verbessert die WC-Phasenkontinuität (Kontaktfläche $> 90 \% \pm 2 \%$) und erhöht die Wärmeleitfähigkeit um $3 \% \pm 0,5 \%$. HIP ($100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) reduziert die Porosität ($< 0,1 \% \pm 0,02 \%$) und erhöht sie um $2 \% \pm 0,3 \%$. Zu hohe Temperaturen ($> 1550 \text{ }^\circ\text{C}$) führen zur Co-Seigerung (Seigerungsrate $< 5 \% \pm 1 \%$) und verringern sie um $3 \% \pm 0,5 \%$.

Umgebung: Hohe Temperaturen ($800 \text{ }^\circ\text{C}$) nehmen aufgrund von Elektronenstreuung um $10 \% \pm 1 \%$ ab; feuchte Hitze ($40 \text{ }^\circ\text{C}$, 90 % Luftfeuchtigkeit) nimmt aufgrund der Oxidschicht ($< 1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,2 \text{ } \mu\text{m}$) um $< 2 \% \pm 0,5 \%$ ab; extreme Kälte ($40 \text{ }^\circ\text{C}$) nimmt aufgrund von Phononen-Wärmeleitung um $1 \% \pm 0,3 \%$ zu; hoher Druck ($> 100 \text{ MPa}$) nimmt um $2 \% \pm 0,3 \%$ zu; Strahlung (10^4 Gy) nimmt um $< 1 \% \pm 0,2 \%$ ab.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Probengröße: Dicke ($> 2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$) verringert die Randstreuung ($< 10 \% \pm 2 \%$) und erhöht die Wärmeleitfähigkeit um $2 \% \pm 0,3 \%$; Oberflächenrauheit ($R_a > 0,4 \text{ }\mu\text{m}$) verursacht Wärmeableitungsverluste, die um $1 \% \pm 0,2 \%$ sinken.

Beispielsweise behält ein Werkzeug mit 8 % Co und HIP-Verfahren ($100 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) beim Hochtemperaturschneiden ($800 \text{ }^\circ\text{C}$) eine Wärmeleitfähigkeit von $95 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ und eine Lebensdauer von $> 12 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$. Die Optimierung erfordert einen niedrigen TiC-Gehalt und HIP.

3.2.2 Wärmeausdehnungskoeffizient

Der Wärmeausdehnungskoeffizient (CTE) von Hartmetall beträgt $46 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,1 \times 10^{-6} / \text{K}$ und ist damit niedriger als der von Keramik ($810 \times 10^{-6} / \text{K}$), hochfestem Stahl ($12 \times 10^{-6} / \text{K}$) und Titanlegierung ($9 \times 10^{-6} / \text{K}$) und wird durch den gewichteten Durchschnitt von WC ($4,5 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,1 \times 10^{-6} / \text{K}$) und Co ($12 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,1 \times 10^{-6} / \text{K}$) bestimmt. Der WAK von Hartmetall mit 10 % Co beträgt $5,5 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,1 \times 10^{-6} / \text{K}$, und bei Hartmetall mit 15 % Co erhöht er sich auf $5,8 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,1 \times 10^{-6} / \text{K}$.

Niedriger WAK reduziert die thermische Spannung ($< 200 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$). Beim Stanzen bei hohen Temperaturen ($600 \text{ }^\circ\text{C}$, Belastung $> 2000 \text{ MPa}$, Temperaturdifferenz $> 400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$) beträgt die Verformung von Hartmetallformen mit 8 % Co $< 0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$, und die Genauigkeit ist um das Fünffache verbessert, was besser ist als bei Stahlformen (Verformung $> 0,05 \text{ mm}$, Genauigkeitsfehler $> 0,1 \text{ mm}$). Durch Zugabe von TiC (15 %, WAK $7 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,1 \times 10^{-6} / \text{K}$) wird die Verformung auf $5,0 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,1 \times 10^{-6} / \text{K}$ reduziert, und die thermische Risslänge beträgt $< 1 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,2 \text{ }\mu\text{m}$.

Beispielsweise beträgt die Verformungstoleranz TiC-haltiger Düsen bei der Verbundformung in der Luftfahrt ($800 \text{ }^\circ\text{C}$, Druck $> 100 \text{ MPa}$) $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$ und die Lebensdauer $> 5000 \text{ Stunden} \pm 500 \text{ Stunden}$, was besser ist als bei Keramikdüsen (Risse $> 10 \text{ }\mu\text{m}$).

Die Auswirkungen auf die Umwelt sind begrenzt. Hohe Temperaturen ($1000 \text{ }^\circ\text{C}$) erhöhen den WAK um $0,2 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,05 \times 10^{-6} / \text{K}$ aufgrund der Gitterausdehnung (Gitterkonstante erhöht sich um $0,1 \% \pm 0,02 \%$). Bei feuchter Hitze ($40 \text{ }^\circ\text{C}$, 90 % Luftfeuchtigkeit, 168 Stunden) gibt es keine erkennbare Änderung (Fehler $< 0,05 \times 10^{-6} / \text{K}$). Hoher Druck ($> 100 \text{ MPa}$) verringert sich um $0,1 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,02 \times 10^{-6} / \text{K}$. Extreme Kälte ($40 \text{ }^\circ\text{C}$) verringert sich um $0,1 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,02 \times 10^{-6} / \text{K}$. Strahlung (10^4 Gy) erhöht sich um $< 0,05 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,01 \times 10^{-6} / \text{K}$. Ni-haltiges Hartmetall (12 % Ni, $5,2 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,1 \times 10^{-6} / \text{K}$) ist in der Meeresumwelt (Salzgehalt 3,5 %, Druck 50 MPa) stabiler.

Beispielsweise wurde eine Ni-haltige Pipeline 3 Jahre lang in der Tiefsee (pH 8, 5000 m Tiefe) betrieben und wies einen WAK von $5,3 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,1 \times 10^{-6} / \text{K}$ und eine Verformung von $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$ auf.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Optimierung des WAK erfordert einen geringen Co-Gehalt (6 % bis 8 %) und TiC-Zusatz. Die Risslänge des Werkzeugs mit 10 % Co in thermischen Zyklen (25.800 °C, 1000-mal, Temperaturdifferenz >500 °C ± 10 °C) beträgt <5 µm ± 1 µm und ist damit besser als bei Keramik (Riss >20 µm). Vergleiche zeigen, dass der WAK von Hartmetall besser ist als Stahl und Titanlegierungen, aber schlechter als Invarlegierungen hinsichtlich der extrem geringen Ausdehnung (<2 × 10⁻⁶ /K).

3.2.2.1 Prüfverfahren für den Wärmeausdehnungskoeffizienten

Zu den CTE-Testmethoden gehören:

Differenzial-Scanning-Kalorimetrie (DSC, ASTM E228): Hartmetall mit 10 % Co (5,5 × 10⁻⁶/K ± 0,1 × 10⁻⁶/K) mit einer Probengröße von 10 × 5 × 5 mm ± 0,1 mm, einer Heizrate von 5 °C/min ± 0,5 °C/min, einer Verschiebungsgenauigkeit von 0,1 µm ± 0,05 µm und einem Fehler von < 2 % ± 0,5 %. Die Umgebungstemperatur beträgt 25 °C ± 2 °C.

Thermomechanische Analyse (TMA, ASTM E831): Hartmetall mit 8 % Co (5,4 × 10⁻⁶ /K ± 0,1 × 10⁻⁶ /K) unter Verwendung einer Probe von 5 × 5 × 10 mm ± 0,1 mm, Last 0,1 N ± 0,01 N, Temperaturauflösung 0,1 °C ± 0,05 °C, Fehler < 3 % ± 0,5 %.

Optische Interferometrie: TiC-haltiges Hartmetall (5,0 × 10⁻⁶ /K ± 0,1 × 10⁻⁶ /K) verwendet ein Laserinterferometer (Wellenlänge 632,8 nm ± 0,1 nm, Auflösung 0,01 µm ± 0,005 µm) mit einem Fehler von < 5 % ± 1 %, was für hohe Präzision geeignet ist.

Röntgenbeugung (XRD): CuK α-Strahlung (Wellenlänge 1,5406 Å ± 0,0001 Å) wurde verwendet, um den Hochtemperatur-CTE (Fehler < 5 % ± 1 %) von Hartmetall mit 10 % Co (Gitterausdehnungsfehler < 0,1 % ± 0,02 %) zu analysieren.

Düsen mit TiC bestehen beispielsweise DSC- und TMA-Tests (5,0 × 10⁻⁶ /K ± 0,1 × 10⁻⁶ /K) und gewährleisten eine Formlebensdauer von >5000 Stunden ± 500 Stunden.

3.2.2.2 Faktoren, die den Wärmeausdehnungskoeffizienten beeinflussen

Der CTE wird durch die folgenden Faktoren beeinflusst:

Zusammensetzung: Der Co-Gehalt steigt von 10 % auf 15 %, und der WAK steigt aufgrund des hohen WAK der Co-Phase (12 × 10⁻⁶ /K) von 5,5 auf 5,8 × 10⁻⁶ /K ± 0,1 × 10⁻⁶ /K. TiC (15 %) sinkt aufgrund des niedrigen WAK (7 × 10⁻⁶ /K) auf 5,0 × 10⁻⁶ /K ± 0,1 × 10⁻⁶ /K. Ni (12 %) sinkt aufgrund des niedrigeren WAK von Ni (13 × 10⁻⁶ /K) auf 5,2 × 10⁻⁶ /K ± 0,1 × 10⁻⁶ /K.

Verfahren: Die Sintertemperatur (1450 °C ± 10 °C) gewährleistet die Gleichmäßigkeit des WCCo (Verteilungsfehler < 5 % ± 1 %) und die Stabilität des WAK. Eine zu hohe Temperatur (> 1550 °C) führt zur Co-Seigerung und erhöht den Wert um 0,2 × 10⁻⁶/K ± 0,05 × 10⁻⁶/K. HIP (100 MPa ± 5 MPa) reduziert die Spannung (< 50 MPa ± 10 MPa) und verringert den Wert um 0,1 × 10⁻⁶/K ± 0,02 × 10⁻⁶/K.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Umgebung: Hohe Temperatur (1000 °C) steigt aufgrund der Gitterausdehnung um $0,2 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,05 \times 10^{-6} / \text{K}$; feuchte Hitze (40 °C, 90 % Luftfeuchtigkeit) unverändert; hoher Druck (> 100 MPa) sinkt um $0,1 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,02 \times 10^{-6} / \text{K}$; extreme Kälte (40 °C) sinkt um $0,1 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,02 \times 10^{-6} / \text{K}$; Strahlung (10^4 Gy) steigt um $< 0,05 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,01 \times 10^{-6} / \text{K}$.

Probengröße: Länge (>10 mm±0,1 mm) verringert Messfehler ($< 0,05 \times 10^{-6} / \text{K}$); Oberflächenrauheit (Ra>0,4 µm) induziert Spannung, die um $0,1 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,02 \times 10^{-6} / \text{K}$ zunimmt.

Eine Form mit 8 % Co und TiC ($5,0 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,1 \times 10^{-6} / \text{K}$, HIP-Verfahren) hält beim Stanzen bei hohen Temperaturen (600 °C) einen WAK von $4,9 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,1 \times 10^{-6} / \text{K}$ und eine Verformung von $< 0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$ aufrecht. Zur Optimierung sind TiC und HIP erforderlich.

3.2.3 Hochtemperaturstabilität

Die Härte von Hartmetall sinkt bei 1000 °C um <30 % (HV 1800 ± 30 auf 1200 ± 30). Damit ist die Härte besser als bei Schnellarbeitsstahl (600 °C, HV 500), Keramik (1200 °C, HV 800) und Titanlegierungen (600 °C, HV 200). Die Stabilität wird durch den hohen Schmelzpunkt von WC (2870 °C ± 20 °C, Zersetzungsenergie > 500 kJ/mol ± 10 kJ/mol) und die Thermoplastizität der Co-Phase (Curietemperatur 1120 °C ± 10 °C, plastische Dehnung < 5 % ± 0,5 %) bestimmt. Die Härte von Hartmetall mit 10 % Co beträgt bei 1000 °C HV 1300 ± 30, und der Verschleißverlust liegt bei $< 0,2 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$.

Die hohe Temperaturstabilität ermöglicht extreme Arbeitsbedingungen. Der Verschleiß des Werkzeugs mit 8 % Co in einer 1000 °C heißen Titanlegierung (Schneidgeschwindigkeit 150 m/min, Wärmestromdichte $> 10 \text{ MW/m}^2 \pm 1 \text{ MW/m}^2$) beträgt $< 0,15 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$, die Lebensdauer > 10 Stunden ± 1 Stunde und ist damit besser als bei Keramikwerkzeugen (Verschleiß > 0,5 mm). Die Zugabe von TaC (1 % ± 2 %) verbessert die Hochtemperaturfestigkeit (Reduktion des Elastizitätsmoduls < 5 % ± 1 %) durch Mischkristallverfestigung (Gitterspannung < 2 % ± 0,2 %), und die Härte bleibt bei HV 1400 ± 30. Beispielsweise arbeitet die TaC-haltige Düse in einer Gasturbine (1100 °C, Gasströmungsgeschwindigkeit > 500 m/s ± 50 m/s) mit Oberflächenschäden $< 10 \text{ µm} \pm 2 \text{ µm}$ und einer Lebensdauer von > 6000 Stunden ± 500 Stunden, was besser ist als bei TaC-freien Materialien (Schäden > 20 µm).

Umwelteinflüsse erfordern Aufmerksamkeit. Hochtemperaturoxidation (600 °C) erzeugt CoO und WO₃ (Gewichtsverlust $0,5 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,1 \text{ mg/cm}^2$, Oxidschicht $< 2 \text{ µm} \pm 0,5 \text{ µm}$), und die Härte verringert sich um 5 % 10 % ± 1 %; feuchte Hitze (40 °C, 90 % Luftfeuchtigkeit, 168 Stunden) beeinflusst $< 2 \text{ %} \pm 0,5 \text{ %}$; hoher Druck (> 100 MPa) erhöht die Stabilität und verringert $< 3 \text{ %} \pm 0,5 \text{ %}$; extreme Kälte (40 °C) hat keine Auswirkungen; Strahlung (10^4 Gy) verringert $< 1 \text{ %} \pm 0,2 \text{ %}$. Cr-haltiges Hartmetall (0,5 % 1 %) bildet eine Cr₂O₃-Schutzschicht (Dicke $< 5 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$, Diffusionskoeffizient $< 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$) und die Härte bei 1000 °C beträgt HV 1350 ± 30. Beispielsweise beträgt die Verformung einer Cr-haltigen Matrize beim Hochtemperatur-Extrudieren (800 °C,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Belastung $> 2000 \text{ MPa}$) $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$ und die Lebensdauer erhöht sich um $30 \% \pm 5 \%$.

Zur Optimierung sind TaC und eine Beschichtung erforderlich. CVD-Beschichtungen (z. B. Al_2O_3 , Dicke $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, Wärmeleitfähigkeit $10 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) reduzieren den Härteabfall um 50% . Werkzeuge mit Al_2O_3 -Beschichtungen haben bei der Bearbeitung von Triebwerken in der Luft- und Raumfahrt (1000°C , Schwingfrequenz $> 10^3 \text{ Hz} \pm 100 \text{ Hz}$) eine Standzeit von > 12 Stunden ± 1 Stunde und sind damit besser als unbeschichtete Werkzeuge (Standzeit < 4 Stunden). Bereichsübergreifende Vergleiche zeigen, dass Hartmetall eine bessere Hochtemperaturstabilität als Stahl und Titanlegierungen aufweist, bei ultrahohen Temperaturen ($> 1500^\circ\text{C}$) jedoch Keramiken (Si_3N_4 , Härte $> 1000 \text{ HV}$) unterlegen ist.

3.2.3.1 Prüfverfahren für die Hochtemperaturstabilität

Zu den Testmethoden für die Hochtemperaturstabilität gehören:

Hochtemperaturhärteprüfung (ASTM E18): Hartmetall mit $10 \% \text{ Co}$ ($\text{HV } 1300 \pm 30$, 1000°C) mit Vickers-Eindringkörper, Belastung $10 \text{ kg} \pm 0,1 \text{ kg}$, Haltezeit $5 \text{ s} \pm 0,5 \text{ s}$, Fehler $< 2 \% \pm 0,5 \%$. Umgebungsbedingungen: $1000^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, Atmosphäre N_2 (Reinheit $> 99,99 \% \pm 0,01 \%$).

Thermogravimetrische Analyse (TGA, ASTM E1131): Hartmetall mit $8 \% \text{ Co}$ (Oxidationsgewichtszunahme $< 2 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,2 \text{ mg/cm}^2$, 1000°C) unter Verwendung einer Probe von $10 \times 10 \times 2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, Erwärmung $10^\circ\text{C/min} \pm 0,5^\circ\text{C/min}$, Massenauflösung $0,1 \mu\text{g} \pm 0,05 \mu\text{g}$, Fehler $< 3 \% \pm 0,5 \%$.

Hochtemperatur-Verschleißtest (ASTM G65): TaC-haltiges Hartmetall (Verschleiß $< 0,2 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, 1000°C) mit Schleifscheibenreibung (Geschwindigkeit $1 \text{ m/s} \pm 0,1 \text{ m/s}$, Last $50 \text{ N} \pm 1 \text{ N}$), Fehler $< 5 \% \pm 1 \%$.

Hochtemperatur-Zugversuch: Cr-haltiges Hartmetall (Streckgrenze $> 1000 \text{ MPa} \pm 50 \text{ MPa}$, 800°C) verwendet einen Probendurchmesser von $5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, eine Geschwindigkeit von $0,1 \text{ mm/min} \pm 0,01 \text{ mm/min}$ und einen Fehler von $< 5 \% \pm 1 \%$.

Düsen mit TaC bestehen beispielsweise Hochtemperaturhärte- und TGA-Tests ($\text{HV } 1400 \pm 30$, Gewichtszunahme $< 1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,1 \text{ mg/cm}^2$) und gewährleisten eine Lebensdauer von > 6000 Stunden ± 500 Stunden.

3.2.3.2 Faktoren, die die Hochtemperaturstabilität beeinflussen

Die Hochtemperaturstabilität wird durch folgende Faktoren beeinflusst:

Zusammensetzung: Der Co-Gehalt steigt von 6% auf 15% , und die Härte sinkt aufgrund der Co-Erweichung (Streckgrenze $< 400 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$) von 25% auf $35 \% \pm 2 \%$ (1000°C , $\text{HV } 1500$ auf 1000 ± 30). TaC ($1 \% \text{ Ta}$) sinkt aufgrund der Mischkristallverfestigung um $< 20 \% \pm 2 \%$. Cr ($0,5 \% \text{ Cr}$) sinkt aufgrund der Cr_2O_3 -Schutzschicht um $< 15 \% \pm 2 \%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verfahren: Die Sintertemperatur ($1450\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) gewährleistet die Stabilität von WC (Zersetzungsrate $<0,1\text{ }\% \pm 0,02\text{ }\%$), die Stabilität erhöht sich um $5\text{ }\% \pm 1\text{ }\%$; HIP ($100\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$) beseitigt Defekte, die Stabilität erhöht sich um $3\text{ }\% \pm 0,5\text{ }\%$. Eine zu hohe Temperatur ($>1550\text{ }^{\circ}\text{C}$) führt zu Oxidation (Gewichtszunahme $>2\text{ mg/cm}^2 \pm 0,2\text{ mg/cm}^2$), die Stabilität verringert sich um $5\text{ }\% \pm 1\text{ }\%$.

Umgebung: Die Oxidation bei hohen Temperaturen ($600\text{ }^{\circ}\text{C}$) verringert sich aufgrund der CoO-Bildung um $5\text{ }\% \pm 1\text{ }\%$, feuchte Hitze ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $90\text{ }\%$ Luftfeuchtigkeit) beeinflusst $<2\text{ }\% \pm 0,5\text{ }\%$, hoher Druck ($>100\text{ MPa}$) erhöht sich um $3\text{ }\% \pm 0,5\text{ }\%$, Strahlung (10^4 Gy) verringert sich um $<1\text{ }\% \pm 0,2\text{ }\%$.

Beschichtung: Al_2O_3 -Beschichtung ($5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$) reduziert die Oxidation (Gewichtszunahme $<0,5\text{ mg/cm}^2 \pm 0,1\text{ mg/cm}^2$) und erhöht die Stabilität um $50\text{ }\% \pm 5\text{ }\%$, TiN-Beschichtung ($5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$) erhöht sie um $30\text{ }\% \pm 3\text{ }\%$.

mit Cr- und Al_2O_3 -Beschichtung ($\text{HV } 1350 \pm 30$, 1000°C) weist eine Verformung von $<0,01\text{ mm} \pm 0,002\text{ mm}$ und eine Lebensdauer von $>6000\text{ h} \pm 500\text{ h}$ beim Hochtemperatur-Extrusionsverfahren (800°C) auf. TaC und Beschichtung sind zur Optimierung erforderlich.

3.2.4 Thermoschockbeständigkeit

Die Thermoschockbeständigkeit von Hartmetall wird durch einen Thermoschocktest ($500\text{ }^{\circ}\text{C}$ Wasserkühlung, 100-mal, ASTM C1525) bewertet. Die Risslänge beträgt $<5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$ und ist damit besser als bei Keramik ($>10\text{ }\mu\text{m}$) und Aluminiumoxid ($>15\text{ }\mu\text{m}$). Die Thermoschockbeständigkeit wird durch einen niedrigen WAK ($5,5 \times 10^{-6}/\text{K} \pm 0,1 \times 10^{-6}/\text{K}$), eine hohe Wärmeleitfähigkeit ($100\text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5\text{ W/m}\cdot\text{K}$) und eine hohe Festigkeit ($>4000\text{ MPa} \pm 100\text{ MPa}$) bestimmt. Die Wärmespannung beträgt $<200\text{ MPa} \pm 20\text{ MPa}$. Die Risstiefe von Hartmetall mit $12\text{ }\%$ Co im thermischen Zyklus ($25.800\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1.000-mal, Temperaturunterschied $>500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) beträgt $<3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,5\text{ }\mu\text{m}$.

Die Thermoschockbeständigkeit unterstützt thermische Zyklen. Die Form mit $10\text{ }\%$ Co hat eine Rissrate von $<0,5\text{ }\%$ und eine Lebensdauer von $>5000\text{ Stunden} \pm 500\text{ Stunden}$ beim Hochtemperaturstanzen ($600\text{ }^{\circ}\text{C}$, Frequenz $>10^4\text{ Mal/Stunde}$, Temperaturunterschied $>400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$), was besser ist als bei Stahlformen (Rissrate $>5\text{ }\%$). Durch Zugabe von Cr ($0,5\text{ }\% \pm 1\text{ }\%$) zur Bildung einer Cr_2O_3 -Schutzschicht (Dicke $<5\text{ nm} \pm 1\text{ nm}$) wird die Thermoschockbeständigkeit um $15\text{ }\% \pm 2\text{ }\%$ verbessert und die Rissbildungsrate um $20\text{ }\% \pm 3\text{ }\%$ reduziert. Beispielsweise beträgt die Oberflächenschädigung der Cr-haltigen Düse im Thermozyklus der Gasturbine ($1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, Gasströmungsgeschwindigkeit $>500\text{ m/s} \pm 50\text{ m/s}$) $<5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$, und die Lebensdauer verlängert sich um $35\text{ }\% \pm 5\text{ }\%$.

Zu den Umwelteinflüssen zählen Hochtemperaturoxidation ($600\text{ }^{\circ}\text{C}$, CoO-Bildung, Dicke $<2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,5\text{ }\mu\text{m}$, Thermoschockbeständigkeit verringert um $5\text{ }\% \pm 1\text{ }\%$), feuchte Hitze ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $90\text{ }\%$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Luftfeuchtigkeit, verringert um $<2 \% \pm 0,5 \%$, hoher Druck ($> 100 \text{ MPa}$, erhöht um $3 \% \pm 0,5 \%$), extreme Kälte (40°C , Rissrate erhöht um $3 \% \pm 0,5 \%$) und Strahlung (10^4 Gy , verringert um $<1 \% \pm 0,2 \%$). Ni-haltiges Hartmetall ($12 \% \text{ Ni}$, Riss $<3 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$) ist in Kernkraftdampf (500°C , 10 MPa , Dampfströmungsgeschwindigkeit $>$ Beispielsweise ist eine Ni-haltige Pipeline seit 3 Jahren in Betrieb und weist Risse $<3 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$ auf, was besser ist als bei Co-haltigen Materialien (Risse $> 5 \mu\text{m}$).

Zur Optimierung sind ein hoher Co-Gehalt ($10\text{--}12 \%$) und eine Beschichtung erforderlich. CVD-Beschichtungen (wie TiN, $5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$, Wärmeleitfähigkeit $20 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) verringern die Rissrate um $50 \pm 5 \%$. Die Standzeit TiN-beschichteter Werkzeuge beim thermischen Zyklusschneiden (800°C , Schwingfrequenz $> 10^3 \text{ Hz} \pm 100 \text{ Hz}$) beträgt $> 10 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$ und ist damit besser als die von unbeschichteten Werkzeugen (Standzeit $< 4 \text{ Stunden}$). Bereichsübergreifende Vergleiche zeigen, dass Hartmetall eine bessere Thermoschockbeständigkeit als Keramik und Titanlegierungen aufweist, bei ultrahohem Thermoschock jedoch Kohlenstofffaserverbundwerkstoffen (Risse $< 1 \mu\text{m}$) unterlegen ist.

3.2.4.1 Prüfverfahren für die Thermoschockbeständigkeit

Zu den Prüfmethoden für die Thermoschockbeständigkeit gehören:

Thermoschocktest (ASTM C1525): Hartmetall mit $12 \% \text{ Co}$ (Riss $<5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) unter Verwendung einer Probe von $10 \times 10 \times 5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, 500°C Wasserkühlung (Temperaturunterschied $> 450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$), 100-mal, Risserkennung unter Verwendung von SEM (Auflösung $< 5 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$), Fehler $< 3 \% \pm 0,5 \%$.

Wärmezyklus-Ermüdungstest: Hartmetall mit $10 \% \text{ Co}$ (Riss $<3 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$) wurde 1000-mal bei 25.800°C erhitzt, mit einer Temperaturdifferenz von $>500^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ und einem Fehler von $<5 \% \pm 1 \%$.

Ultraschallprüfung (ASTM E588): Für Cr-haltiges Hartmetall (Risstiefe $<5\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$) wird eine Longitudinalwelle (Frequenz $5 \text{ MHz}\pm 0,1 \text{ MHz}$, Wellengeschwindigkeit $6 \text{ km/s}\pm 0,1 \text{ km/s}$) mit einem Fehler von $<5\%\pm 1\%$ verwendet.

Infrarot-Wärmebildgebung: Ni-haltiges Hartmetall (Riss $<3 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$) verwendet eine Infrarotkamera (Auflösung $0,1^\circ\text{C} \pm 0,05^\circ\text{C}$), um die thermische Spannungsverteilung zu analysieren (Fehler $<5 \% \pm 1 \%$).

Düsen mit Cr bestehen beispielsweise Thermoschock- und Ultraschalltests (Riss $< 5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) und gewährleisten so eine Lebensdauer der Gasturbine von $> 5000 \text{ Stunden} \pm 500 \text{ Stunden}$.

3.2.4.2 Faktoren, die die Thermoschockbeständigkeit beeinflussen

Die Thermoschockbeständigkeit wird durch folgende Faktoren beeinflusst:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zusammensetzung: Der Co-Gehalt steigt von 10 % auf 12 %, die Thermoschockbeständigkeit steigt aufgrund der erhöhten Plastizität (Dehnung $< 5 \% \pm 0,5 \%$) um $15 \% \pm 2 \%$. TiC (15 %) sinkt aufgrund des reduzierten WAK ($5,0 \times 10^{-6}/K \pm 0,1 \times 10^{-6}/K$), aber der reduzierten Wärmeleitfähigkeit ($85 \text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Cr (0,5 % 1 %) steigt aufgrund der Cr_2O_3 -Schutzschicht um $15 \% \pm 2 \%$.

Prozess: Die Sintertemperatur ($1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) verbessert die Gleichmäßigkeit und die Thermoschockbeständigkeit um $5 \% \pm 1 \%$; HIP ($100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) reduziert Defekte um $10 \% \pm 1 \%$. Schnelles Abkühlen ($> 10^\circ\text{C}/\text{min}$) führt zu Spannungen ($> 100 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$), die um $5 \% \pm 1 \%$ abnehmen.

Umgebung: Hochtemperaturoxidation (600°C) nimmt aufgrund der CoO-Bildung um $5 \% \pm 1 \%$ ab; feuchte Hitze (40°C , 90 % Luftfeuchtigkeit) nimmt um $< 2 \% \pm 0,5 \%$ ab; hoher Druck ($> 100 \text{ MPa}$) nimmt um $3 \% \pm 0,5 \%$ zu; extreme Kälte (40°C) nimmt um $3 \% \pm 0,5 \%$ ab; Strahlung (10^4 Gy) nimmt um $< 1 \% \pm 0,2 \%$ ab.

Beschichtung: TiN-Beschichtung ($5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) reduziert die thermische Spannung ($< 150 \text{ MPa} \pm 20 \text{ MPa}$), erhöht um $50 \% \pm 5 \%$, Al_2O_3 -Beschichtung erhöht um $30 \% \pm 3 \%$.

Beispielsweise hat ein Werkzeug mit 10 % Co- und TiN-Beschichtung (Riss $< 3 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$) eine Lebensdauer von $> 10 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$ beim thermischen Zyklusschneiden (800°C). Zur Optimierung sind Beschichtungen mit hohem Co- und TiN-Gehalt erforderlich.

3.3 Chemische Stabilität von Hartmetall

Die chemische Stabilität von Hartmetall bezeichnet seine Fähigkeit, chemischen Reaktionen oder Korrosion in unterschiedlichen Umgebungen (wie Säuren, Laugen, hohen Temperaturen, feuchter Hitze usw.) zu widerstehen. Sie wird hauptsächlich durch die chemischen Eigenschaften der Wolframkarbid-Hartphase (WC) und der Kobalt- (Co) oder Nickel- (Ni) Bindungsphase bestimmt. WC verfügt über eine ausgezeichnete Oxidations- und Korrosionsbeständigkeit und ist chemisch inert, kann sich jedoch bei hohen Temperaturen ($> 800^\circ\text{C}$) zersetzen oder zu WO_3 oxidieren. Die Co-Phase ist relativ aktiv und neigt in sauren (pH-Wert < 4 , wie z. B. HCl , H_2SO_4) oder feuchten und heißen Umgebungen (40°C , 90 % Luftfeuchtigkeit) zur Korrosion, mit einer Gewichtsverlustrate von $0,1\text{--}0,2 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{Jahr}$, während die Ni-Phase korrosionsbeständiger ist (Gewichtsverlust $< 0,05 \text{ mg}/\text{cm}^2/\text{Jahr}$).

Die chemische Stabilität von Hartmetall wird durch Zusammensetzung und Verfahren beeinflusst: Durch Reduzierung des Co-Gehalts (6–8 %) oder Zugabe von Cr und TiC (0,5–1 %) kann eine Schutzschicht (z. B. Cr_2O_3) gebildet werden, die die Korrosionsbeständigkeit um etwa 10–15 % verbessert. Hochtemperatursintern ($1350\text{--}1450^\circ\text{C}$) und das HIP-Verfahren verringern die Porosität ($< 0,05 \%$), verringern Korrosionskanäle und verbessern die Stabilität um etwa 5–10 %. In der Praxis weist Ni-haltiges Hartmetall in Meeresumgebungen (Salzgehalt 3,5 %, 50 MPa) eine ausgezeichnete Stabilität auf, mit einem Festigkeitsabfall von $< 1 \%$ und einer Lebensdauer von über 3 Jahren. Bei hohen Temperaturen (1000°C) beträgt die Oxidationsgewichtszunahme von TiC-haltigem

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hartmetall $<0,08 \text{ mg/cm}^2$, was besser ist als beim reinen Co-System ($>0,1 \text{ mg/cm}^2$). Das aktuelle Datum und die aktuelle Uhrzeit sind 21. Mai 2025, 10:10 Uhr JST.

aus Hartmetall gewährleistet eine lange Lebensdauer in korrosiven Medien, bei Hochtemperaturoxidationen und in komplexen chemischen Umgebungen und wird in der chemischen Industrie, im Meer, in der Kernenergie und in der Tiefsee eingesetzt.

3.3.1 Korrosionsbeständigkeit von Hartmetall

Hartmetall weist eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit in sauren (pH 24), neutralen (pH 68) und alkalischen (pH 1012) Umgebungen auf. Der Schlüssel hierzu liegt in der chemischen Inertheit der WC-Phase (Auflösungsrate $<10^{-6} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{h} \pm 10^{-7} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{h}$). Die Korrosionsrate von Hartmetall mit 10 % Co in neutraler Umgebung (3,5 % NaCl, mit Cl⁻ 19 g/l) beträgt $<0,05 \text{ mm/Jahr} \pm 0,01 \text{ mm/Jahr}$ und das Korrosionspotenzial beträgt $0,3 \text{ V} \pm 0,02 \text{ V}$ (vs. SCE), was besser ist als bei hochfestem Stahl (0,6 V, 0,5 mm/Jahr) und rostfreiem Stahl (0,2 mm/Jahr). In einer sauren Umgebung (pH 3, H₂SO₄, Konzentration 1 mol/L) löste sich die Co-Phase auf (Gewichtsverlust $0,10,5 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,05 \text{ mg/cm}^2$) und die Korrosionsrate erhöhte sich auf $0,1 \text{ mm/Jahr} \pm 0,02 \text{ mm/Jahr}$.

Der Gewichtsverlust von Ni-haltigem Hartmetall (12 % Ni) im Salzsprühtest (ASTM B117, 168 Stunden, $35 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) beträgt $<0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,02 \text{ mg/cm}^2$, und die Korrosionsrate in alkalischer Umgebung (pH 12, NaOH, Konzentration 0,1 mol/l) beträgt $<0,02 \text{ mm/Jahr} \pm 0,005 \text{ mm/Jahr}$, was besser ist als bei Co-haltigen Materialien ($0,05 \text{ mm/Jahr} \pm 0,01 \text{ mm/Jahr}$). Durch Zugabe von Cr (0,5 % 1 %) entsteht eine Cr₂O₃-Passivierungsschicht (Dicke $<5 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$, spezifischer Widerstand $> 10^6 \text{ } \Omega \cdot \text{cm} \pm 10^5 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$), die Säurekorrosionsrate sank auf $0,01 \text{ mm/Jahr} \pm 0,002 \text{ mm/Jahr}$.

Beispielsweise sind Ventile mit NiCr seit 5 Jahren in der Tiefsee (pH-Wert 8, Salzgehalt 3,5 %, 5000 m Tiefe) im Einsatz und weisen eine Korrosionstiefe von $<5 \text{ } \mu\text{m} \pm 1 \text{ } \mu\text{m}$ auf, was besser ist als bei Edelstahl (Tiefe $> 50 \text{ } \mu\text{m}$, Lebensdauer < 2 Jahre).

Der Einfluss der Umgebung ist erheblich. Feuchte Hitze ($40 \text{ }^\circ\text{C}$, 90 % Luftfeuchtigkeit, 168 Stunden) verstärkt die Co-Phasenkorrosion (Gewichtsverlust steigt um $10 \% \pm 15 \% \pm 2 \%$, Korrosionsstromdichte $> 1 \text{ } \mu\text{A/cm}^2 \pm 0,1 \text{ } \mu\text{A/cm}^2$); hoher Druck ($> 100 \text{ MPa}$, Tiefsee) verringert die Ionendiffusion (Diffusionskoeffizient $< 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$), und die Korrosionsrate sinkt um $5 \% \pm 1 \%$; extreme Kälte ($40 \text{ }^\circ\text{C}$) verlangsamt die Reaktion (Reaktionsrate sinkt um $< 50 \% \pm 5 \%$), und die Korrosionsrate sinkt um $3 \% \pm 0,5 \%$; Strahlung (10^4 Gy) verursacht Oberflächendefekte, und die Korrosionsrate steigt um $2 \% \pm 0,3 \%$. Mo-haltiges Hartmetall (0,5 % 1 %) bildet eine MoO₂-Schutzschicht (Dicke $<3 \text{ nm} \pm 0,5 \text{ nm}$) und die Säurekorrosionsrate beträgt $<0,015 \text{ mm/Jahr} \pm 0,003 \text{ mm/Jahr}$.

Beispielsweise betrug die Oberflächenschädigung eines Reaktors mit NiMo nach 3-jährigem Betrieb in HCl (pH 2, Konzentration 1 mol/l) $<3 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,5 \text{ } \mu\text{m}$, was besser ist als die von Co-haltigen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Materialien (Schaden > 10 µm).

Korrosionsbeständigkeit ist für die chemische Industrie und die Ozeane von Vorteil. Ein Pumpenkörper mit 10 % Co₂ wurde zwei Jahre lang in einer Chemieranlage (pH 4, H₂SO₄, Durchflussrate > 5 m/s ± 0,5 m/s) betrieben. Die Korrosionstiefe betrug < 10 µm ± 2 µm und die Lebensdauer > 2 ± 0,2 Jahre. Die Ni-Auskleidung erhöhte die Lebensdauer in der Meeresumwelt (pH 8, Salzgehalt 3,5 %) um 40 % ± 5 %. Ein feldübergreifender Vergleich zeigt, dass Hartmetall eine bessere Korrosionsbeständigkeit als Stahl und Titanlegierungen aufweist (0,3 mm/Jahr), aber in stark oxidierenden Säuren (wie HNO₃, Konzentration > 5 mol/l) Keramik unterlegen ist (Gewichtsverlust < 0,01 mg/cm²).

3.3.1.1 Prüfverfahren für Korrosionsbeständigkeit

Zu den Prüfmethoden für Korrosionsbeständigkeit gehören:

Elektrochemische Prüfung (ASTM G59): Hartmetall mit 10 % Co (Korrosionsrate <0,05 mm/Jahr ± 0,01 mm/Jahr) unter Verwendung eines Dreielektrodensystems (Referenzelektrode SCE, Scanrate 1 mV/s ± 0,1 mV/s, Potentialbereich ± 250 mV ± 10 mV), Korrosionsstromfehler <1 % ± 0,2 %, Gesamtfehler <2 % ± 0,5 %. Umgebungstemperatur 25 °C ± 2 °C, Elektrolyt 3,5 % NaCl.

Salzsprühetest (ASTM B117): Hartmetall mit 12 % Ni (Gewichtsverlust <0,1 mg/cm² ± 0,02 mg/cm²) bei 35 °C ± 1 °C, 5 % NaCl-Sprühnebel, 168 Stunden, Massenauflösung 0,1 mg ± 0,05 mg, Fehler <3 % ± 0,5 %.

Immersionstest (ASTM G31): Cr-haltiges Hartmetall (Korrosionsrate <0,01 mm/Jahr ± 0,002 mm/Jahr) unter Verwendung von pH 2 H₂ SO₄, 168 Stunden, Temperatur 25°C ± 2°C, Gewichtsverlustfehler <0,01 mg/cm² ± 0,005 mg/cm², Fehler <5% ± 1%.

XPS-Oberflächenanalyse: Mo-haltiges Hartmetall (Korrosionsschicht <3µm±0,5µm) verwendet AlK_α-Strahlung (1486,6 eV±0,1 eV, Auflösung 0,1 eV±0,05 eV) zur Analyse der Passivierungsschicht (Fehler <5%±1%).

Beispielsweise bestehen Ventile aus NiCr elektrochemische Tests und Salzsprühnebeltests (Korrosionsrate <0,02 mm/Jahr ± 0,005 mm/Jahr, Gewichtsverlust <0,1 mg/cm² ± 0,02 mg/cm²) und gewährleisten so eine Tiefseelebensdauer von >5 Jahren ± 0,5 Jahren.

3.3.1.2 Faktoren, die die Korrosionsbeständigkeit von Hartmetall beeinflussen

Die Korrosionsbeständigkeit wird beeinflusst durch:

Element

Wenn der Co-Gehalt von 10 % auf 15 % steigt, erhöht sich die Korrosionsrate in neutraler Umgebung (3,5 % NaCl, pH 8) aufgrund der erhöhten elektrochemischen Aktivität der Co-Phase von 0,05 auf 0,07 mm/Jahr ± 0,01 mm/Jahr (die Korrosionsstromdichte erhöht sich von 1 auf 1,5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\mu\text{A}/\text{cm}^2 \pm 0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$). Der Ersatz von Co durch Ni (12 % Ni) verringert die Korrosionsrate auf $0,02 \text{ mm/Jahr} \pm 0,005 \text{ mm/Jahr}$ aufgrund der Bildung einer stabilen NiO-Passivierungsschicht (Dicke $< 3 \text{ nm} \pm 0,5 \text{ nm}$, spezifischer Widerstand $> 10^7 \Omega \cdot \text{cm} \pm 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$). Die Cr-Zugabe (0,5 % 1 %) sinkt auf $0,01 \text{ mm/Jahr} \pm 0,002 \text{ mm/Jahr}$, da die Cr_2O_3 -Schutzschicht (Bindungsenergie $> 400 \text{ kJ/mol} \pm 10 \text{ kJ/mol}$) die Ionendiffusion hemmt (Diffusionskoeffizient $< 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-15} \text{ cm}^2/\text{s}$). Mo (0,5 % 1 %) bildet MoO_2 (Dicke $< 3 \text{ nm} \pm 0,5 \text{ nm}$), und die Korrosionsrate in saurer Umgebung (pH 2, HCl) sinkt auf $0,015 \text{ mm/Jahr} \pm 0,003 \text{ mm/Jahr}$.

Beispielsweise wurde ein Ventil mit NiCr (Korrosionsrate $0,01 \text{ mm/Jahr} \pm 0,002 \text{ mm/Jahr}$) 5 Jahre lang in der Tiefsee (5000 m, Salzgehalt 3,5 %) betrieben, wobei die Oberflächenschäden $< 5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ betrugen.

Technologie

Die Sinter Temperatur ($1450 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$) gewährleistet die WCCo-Grenzflächenbindung (Bindungsstärke $> 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$), verringert die Co-Exposition (exponierte Fläche $< 5 \% \pm 1 \%$) und senkt die Korrosionsrate um $3 \% \pm 0,5 \%$. Heißisostatisches Pressen (HIP, $100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) eliminiert Poren (Porosität $< 0,1 \% \pm 0,02 \%$), reduziert Korrosionspfade und senkt die Korrosionsrate um $5 \% \pm 1 \%$. Zu hohe Temperaturen ($> 1550 \text{ }^\circ\text{C}$) führen zur Co-Seigerung (Seigerungsrate $< 5 \% \pm 1 \%$) und erhöhen die Korrosionsrate um $10 \% \pm 2 \%$. Oberflächenpolitur ($R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$) reduziert reaktive Stellen (Oberflächenenergie $< 1 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$) und senkt die Korrosionsrate um $2 \% \pm 0,3 \%$. Beispielsweise wird ein Pumpenkörper mit 10 % Co und HIP-Verfahren (Korrosionsrate $0,04 \text{ mm/Jahr} \pm 0,01 \text{ mm/Jahr}$) in einer Chemieranlage (pH 4) mit einer Lebensdauer von $> 2 \text{ Jahren} \pm 0,2 \text{ Jahren}$ betrieben.

Umfeld

Feuchte Hitze ($40 \text{ }^\circ\text{C}$, 90 % Luftfeuchtigkeit, 168 Stunden) verstärkt die Co-Phasenkorrosion (Gewichtsverlust steigt um $10\text{--}15 \% \pm 2 \%$, Korrosionstiefe $< 2 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$); hoher Druck ($> 100 \text{ MPa}$, Tiefsee) hemmt die Ionenmigration und verringert sie um $5 \% \pm 1 \%$; extreme Kälte ($40 \text{ }^\circ\text{C}$) verlangsamt die Reaktionskinetik (Aktivierungsenergie $> 100 \text{ kJ/mol} \pm 5 \text{ kJ/mol}$) und verringert sie um $3 \% \pm 0,5 \%$; Strahlung (10^4 Gy , γ -Strahlen) verursacht Oberflächendefekte (Leerstellendichte $< 10^{15}/\text{cm}^3$), wodurch sie um $2 \% \pm 0,3 \%$ steigt; starke oxidierende Säure (wie HNO_3 , 5 mol/l) induziert eine WC-Auflösung (Gewichtsverlust $> 0,5 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,1 \text{ mg/cm}^2$), was einer Zunahme um $20 \% \pm 3 \%$ entspricht. Mo-haltiges Hartmetall arbeitet in HCl (pH 2), und die Korrosionsrate bleibt bei $0,015 \text{ mm/Jahr} \pm 0,003 \text{ mm/Jahr}$.

Elektrochemische Bedingungen

Potenzial ($> 0,3 \text{ V vs. SCE}$) löst anodische Co-Auflösung aus (Auflösungsrate $> 10^{-6} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{h} \pm 10^{-7} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{h}$), und die Korrosionsrate steigt um $10 \% \pm 2 \%$; niedriger pH-Wert (< 4) beschleunigt H^+ -Angriff (Reaktionsrate $> 10^{-5} \text{ mol/cm}^2 \cdot \text{s} \pm 10^{-6} \text{ mol/cm}^2 \cdot \text{s}$), wodurch die Korrosionsrate um $15 \% \pm 2 \%$ steigt. Beispielsweise beträgt die Korrosionsrate von Ni-haltigen Elektroden (Korrosionspotenzial $0,2 \text{ V} \pm 0,02 \text{ V}$), die in einem Elektrolyten (pH 3) betrieben werden, $< 0,02 \text{ mm/Jahr} \pm 0,005 \text{ mm/Jahr}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Oberflächenbehandlung

CVD-Beschichtungen (z. B. CrN, $5\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$, spezifischer Widerstand $> 10^8\ \Omega\cdot\text{cm} \pm 10^7\ \Omega\cdot\text{cm}$) reduzieren die Korrosionsrate dank des Isoliermediums um $50\% \pm 5\%$; Polieren ($R_a < 0,1\ \mu\text{m} \pm 0,02\ \mu\text{m}$) reduziert die Korrosionsrate um $3\% \pm 0,5\%$. Die Auskleidung mit CrN-Beschichtung wurde drei Jahre lang in Meeresumgebung (pH 8) betrieben, und die Korrosionstiefe beträgt $< 3\ \mu\text{m} \pm 0,5\ \mu\text{m}$.

Zur Optimierung der Korrosionsbeständigkeit sind die Zugabe von Ni/Cr/Mo und das HIP-Verfahren erforderlich. Beispielsweise erhöht sich die Lebensdauer eines Ventils mit $12\% \text{ Ni}$ und $0,5\% \text{ Cr}$ (Korrosionsrate $0,01\ \text{mm/Jahr} \pm 0,002\ \text{mm/Jahr}$) im Tiefsee-Öl- und -Gas-Bereich (5000 m, pH 8) um $40\% \pm 5\%$.

3.3.2 Oxidationsbeständigkeit von Hartmetall

Die Oxidationsbeständigkeit von Hartmetall wird durch die chemische Stabilität von WC (Oxidationsenthalpie $< 800\ \text{kJ/mol} \pm 20\ \text{kJ/mol}$) und die Oxidationstendenz der Co-Phase (CoO-Bildung, Enthalpie $< 200\ \text{kJ/mol} \pm 10\ \text{kJ/mol}$) bestimmt. Bei $700\ ^\circ\text{C}$ erhöht sich das Oxidationsgewicht von Hartmetall mit $10\% \text{ Co}$ um $0,5\ \text{mg/cm}^2 \pm 0,1\ \text{mg/cm}^2$, und die Dicke der Oxidschicht beträgt $< 2\ \mu\text{m} \pm 0,5\ \mu\text{m}$; bei $1000\ ^\circ\text{C}$ erhöht sich das Gewicht um $2\ \text{mg/cm}^2 \pm 0,2\ \text{mg/cm}^2$ und die Dicke der Oxidschicht beträgt $< 10\ \mu\text{m} \pm 2\ \mu\text{m}$, was besser ist als bei hochfestem Stahl ($700\ ^\circ\text{C}$, Gewichtszunahme $> 5\ \text{mg/cm}^2$) und Titanlegierung ($700\ ^\circ\text{C}$, Gewichtszunahme $> 3\ \text{mg/cm}^2$).

Die Oxidationsbeständigkeit unterstützt hohe Arbeitsbedingungen. Beim Schneiden von Luftfahrt-Titanlegierungen ($1000\ ^\circ\text{C}$, Wärmestrom $> 10\ \text{MW/m}^2 \pm 1\ \text{MW/m}^2$, O_2 -Partialdruck $0,21\ \text{atm} \pm 0,01\ \text{atm}$) beträgt die Oxidationstiefe des Werkzeugs mit $8\% \text{ Co}$ $< 5\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$, der Verschleiß $< 0,15\ \text{mm} \pm 0,03\ \text{mm}$ und die Lebensdauer $> 10\ \text{Stunden} \pm 1\ \text{Stunde}$. Dies ist besser als bei Keramikwerkzeugen (Oxidationstiefe $> 20\ \mu\text{m}$). Durch Zugabe von TiC (15%) zur Bildung einer TiO_2 -Schutzschicht (Dicke $< 3\ \mu\text{m} \pm 0,5\ \mu\text{m}$, Diffusionskoeffizient $< 10^{-14}\ \text{cm}^2/\text{s} \pm 10^{-15}\ \text{cm}^2/\text{s}$) wird die Gewichtszunahme bei $1000\ ^\circ\text{C}$ auf $1\ \text{mg/cm}^2 \pm 0,1\ \text{mg/cm}^2$ reduziert.

Beispielsweise wurde eine Düse mit $15\% \text{ TiC}$ 5000 Stunden lang in einer Gasturbine betrieben ($1100\ ^\circ\text{C}$, Gasströmungsgeschwindigkeit $> 500\ \text{m/s} \pm 50\ \text{m/s}$, O_2 -Gehalt $20\% \pm 1\%$). Dabei betrug die Oxidschichtdicke $< 8\ \mu\text{m} \pm 2\ \mu\text{m}$ und die Verformung $< 0,01\ \text{mm} \pm 0,002\ \text{mm}$, was besser ist als bei TiC-freiem Material (Oxidschicht $> 15\ \mu\text{m}$).

Umwelteinflüsse erfordern Aufmerksamkeit. Feuchte Hitze ($40\ ^\circ\text{C}$, 90% Luftfeuchtigkeit, 168 Stunden) induziert eine Mikrooxidation von CoO (Gewichtszunahme $< 0,1\ \text{mg/cm}^2 \pm 0,02\ \text{mg/cm}^2$), und die Oxidationsbeständigkeit verringert sich um $< 2\% \pm 0,5\%$; Hochtemperaturdampf ($500\ ^\circ\text{C}$, $10\ \text{MPa}$, H_2O -Partialdruck $> 0,9\ \text{atm} \pm 0,01\ \text{atm}$) beschleunigt die Bildung von WO_3 (Gewichtszunahme erhöht sich um $10\% \pm 2\%$, Oxidschicht $< 5\ \mu\text{m} \pm 1\ \mu\text{m}$); hoher Druck (> 100

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

MPa) hemmt die Sauerstoffdiffusion, verringert sich um $5\% \pm 1\%$; Strahlung (10^4 Gy) induziert Oberflächendefekte, erhöht sich um $2\% \pm 0,3\%$. Cr-haltiges Hartmetall ($0,5\% \pm 1\%$) bildet eine Cr_2O_3 -Schutzschicht (Dicke $< 5\text{ nm} \pm 1\text{ nm}$, spezifischer Widerstand $> 10^6\ \Omega\cdot\text{cm} \pm 10^5\ \Omega\cdot\text{cm}$), die Gewichtszunahme bei $1000\text{ }^\circ\text{C}$ verringert sich auf $0,8\text{ mg/cm}^2 \pm 0,1\text{ mg/cm}^2$. Beispielsweise beträgt beim Hochtemperatur-Extrudieren ($800\text{ }^\circ\text{C}$, O_2 -Partialdruck $0,21\text{ atm} \pm 0,01\text{ atm}$) die Oxidationstiefe von Cr-haltigen Formen $< 3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,5\text{ }\mu\text{m}$, und die Lebensdauer erhöht sich um $30\% \pm 5\%$.

Zur Optimierung sind Cr/TiC-Zugabe und -Beschichtung erforderlich. CVD-Beschichtungen (wie Al_2O_3 , $5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$, Wärmeleitfähigkeit $10\text{ W/m}\cdot\text{K} \pm 2\text{ W/m}\cdot\text{K}$, Oxidationsenthalpie $< 1600\text{ kJ/mol} \pm 50\text{ kJ/mol}$) reduzieren die Gewichtszunahme um $60\% \pm 5\%$. Werkzeuge mit Al_2O_3 -Beschichtung haben eine Oxidationstiefe von $< 3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,5\text{ }\mu\text{m}$ und eine Standzeit von $> 12\text{ Stunden} \pm 1\text{ Stunde}$ bei der Bearbeitung von Luft- und Raumfahrttriebwerken ($1000\text{ }^\circ\text{C}$, Schwingfrequenz $> 10^3\text{ Hz} \pm 100\text{ Hz}$), was besser ist als bei unbeschichteten Werkzeugen (Oxidationstiefe $> 10\text{ }\mu\text{m}$, Standzeit $< 4\text{ Stunden}$). Vergleiche verschiedener Bereiche zeigen, dass Hartmetall eine bessere Oxidationsbeständigkeit als Stahl und Titanlegierungen aufweist, bei ultrahohen Temperaturen ($> 1200\text{ }^\circ\text{C}$) jedoch Keramiken (Si_3N_4 , Gewichtszunahme $< 0,5\text{ mg/cm}^2$) unterlegen ist.

3.3.2.1 Prüfverfahren für die Oxidationsbeständigkeit von Hartmetall

Antioxidationsmittel-Testmethoden gewährleisten die Bewertung der Stabilität bei hohen Temperaturen. Zu den gängigen Techniken gehören:

Thermogravimetrische Analyse (TGA, ASTM E1131)

Für Hartmetall mit $10\% \text{ Co}$ ($700\text{ }^\circ\text{C}$, Gewichtszunahme $0,5\text{ mg/cm}^2 \pm 0,1\text{ mg/cm}^2$) wird eine Probe von $10 \times 10 \times 2\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$ verwendet, eine Heizrate von $10\text{ }^\circ\text{C/min} \pm 0,5\text{ }^\circ\text{C/min}$, eine Massenauflösung von $0,1\text{ }\mu\text{g} \pm 0,05\text{ }\mu\text{g}$, eine Luftatmosphäre (O_2 -Partialdruck $0,21\text{ atm} \pm 0,01\text{ atm}$) und ein Fehler von $< 2\% \pm 0,5\%$.

Hochtemperatur-Belastungstest (ISO 21608)

TiC-haltiges Hartmetall ($1000\text{ }^\circ\text{C}$, Gewichtszunahme $< 1\text{ mg/cm}^2 \pm 0,1\text{ mg/cm}^2$), die Probe war $20 \times 10 \times 5\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$ groß, 168 Stunden lang ausgesetzt, mit einer Temperaturschwankung von $< \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ und einem Fehler von $< 3\% \pm 0,5\%$.

E2108): Cr-haltiges Hartmetall (Oxidschichtdicke $< 8\text{ }\mu\text{m} \pm 2\text{ }\mu\text{m}$) verwendet $\text{AlK}\alpha$ -Strahlung ($1486,6\text{ eV} \pm 0,1\text{ eV}$, Auflösung $0,1\text{ eV} \pm 0,05\text{ eV}$), um die Oxidzusammensetzung ($\text{Cr}_2\text{O}_3 / \text{WO}_3$, Fehler $< 5\% \pm 1\%$) zu analysieren.

Rasterelektronenmikroskopie (SEM, ASTM E986)

Die Oxidschicht von Hartmetall mit Al_2O_3 -Beschichtung (Oxidationstiefe $< 3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,5\text{ }\mu\text{m}$) wurde im Rückstreuелеktronenmodus mit einer Auflösung von $< 5\text{ nm} \pm 1\text{ nm}$ (Fehler $< 5\% \pm 1\%$) analysiert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Spektroskopische Ellipsometrie

Bei Hartmetall mit 10 % Co (Oxidschicht $< 10 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$) beträgt die Wellenlänge $300\text{--}800 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$ und der Einfallswinkel $70^\circ \pm 0,5^\circ$, um die Dicke der Oxidschicht zu messen (Fehler $< 5 \% \pm 1 \%$).

Der Test erfordert eine kontrollierte Atmosphäre (O_2 -Reinheit $> 99,9 \% \pm 0,1 \%$) und Temperatur (Schwankung $< \pm 5^\circ\text{C}$). Beispielsweise bestehen Düsen mit Cr die TGA- und XPS-Tests (1000°C , Gewichtszunahme $0,8 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,1 \text{ mg/cm}^2$, Oxidschicht $< 8 \mu\text{m} \pm 2 \mu\text{m}$) und gewährleisten so eine Lebensdauer der Gasturbine von $> 5000 \text{ Stunden} \pm 500 \text{ Stunden}$.

3.3.2.2 Faktoren, die die antioxidative Aktivität beeinflussen

Die antioxidative Aktivität wird durch folgende Faktoren beeinflusst:

Zusammensetzung: Der Co-Gehalt steigt von 10 % auf 15 %, und die Gewichtszunahme bei 1000°C steigt von 2 auf $2,5 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,2 \text{ mg/cm}^2$ aufgrund der erhöhten CoO-Bildungsrate (Reaktionsrate $> 10^{-5} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s} \pm 10^{-6} \text{ g/cm}^2 \cdot \text{s}$). TiC (15 %) sinkt aufgrund der TiO_2 -Schutzschicht auf $1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,1 \text{ mg/cm}^2$ (Diffusionskoeffizient $< 10^{-14} \text{ cm}^2 / \text{s}$). Cr ($0,5 \% \pm 1 \%$) sinkt aufgrund der Bildung von Cr_2O_3 (Bindungsenergie $> 400 \text{ kJ/mol} \pm 10 \text{ kJ/mol}$) auf $0,8 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,1 \text{ mg/cm}^2$. Bei Hartmetall mit Al_2O_3 -Beschichtung ($5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$) sinkt er auf $0,3 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,05 \text{ mg/cm}^2$.

Verfahren: Die Sintertemperatur ($1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) gewährleistet WC-Stabilität (Zersetzungsrate $< 0,1 \% \pm 0,02 \%$) und verringert die Gewichtszunahme um $3 \% \pm 0,5 \%$. HIP ($100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) reduziert die Porosität ($< 0,1 \% \pm 0,02 \%$) und verringert sie um $5 \% \pm 1 \%$. Übertemperatur ($> 1550^\circ\text{C}$) führt zur Oxidation von Cobalt (Gewichtszunahme um $10 \% \pm 2 \%$). Die Beschichtungsabscheidung (CVD, $800^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) bildet dichtes Al_2O_3 (Porosität $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$) und verringert sie um $60 \% \pm 5 \%$.

Umgebung: Hohe Temperaturen (1000°C) erhöhen das Gewicht aufgrund der O_2 -Diffusion (Diffusionskoeffizient $> 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-13} \text{ cm}^2/\text{s}$); feuchte Hitze (40°C , 90 % Luftfeuchtigkeit) führt zu Mikrooxidation, die um $< 2 \% \pm 0,5 \%$ zunimmt; Dampf (500°C , 10 MPa) erhöht das Gewicht aufgrund der WO_3 -Erzeugung um $10 \% \pm 2 \%$; hoher Druck ($> 100 \text{ MPa}$) verringert das Gewicht um $5 \% \pm 1 \%$; Strahlung (10^4 Gy) erhöht das Gewicht um $2 \% \pm 0,3 \%$.

Oberflächenbeschaffenheit: Durch Polieren ($R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$) werden Oxidationsstellen (Oberflächenenergie $< 1 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$) um $3 \% \pm 0,5 \%$ reduziert; die raue Oberfläche ($R_a > 0,4 \mu\text{m}$) nimmt um $5 \% \pm 1 \%$ zu.

Atmosphäre: Niedriger O_2 -Partialdruck ($< 0,1 \text{ atm} \pm 0,01 \text{ atm}$) verringert das Gewicht um $50 \% \pm 5 \%$; H_2O -haltige Atmosphäre (Partialdruck $> 0,5 \text{ atm} \pm 0,01 \text{ atm}$) erhöht das Gewicht um $10 \% \pm 2 \%$.

Beispielsweise weist ein Werkzeug mit einer Cr- und Al_2O_3 -Beschichtung (1000°C , Gewichtszunahme $0,3 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,05 \text{ mg/cm}^2$) eine Oxidationstiefe von $< 3 \mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$ und eine Lebensdauer von $> 12 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$ beim Schneiden in der Luftfahrt auf. Zur Optimierung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sind eine Cr-Zugabe und eine Al_2O_3 -Beschichtung erforderlich.

3.4 Elektrische und magnetische Eigenschaften von Hartmetall

Elektrische und magnetische Eigenschaften unterstützen die Anwendung von Hartmetall in der Funkenerosion (EDM), der magnetischen Detektion, der Abschirmung von Kernkraftwerken und in der Luft- und Raumfahrtsensorik. Dieser Abschnitt analysiert die elektrische Leitfähigkeit und die magnetischen Eigenschaften der Co-Phase.

3.4.1 Elektrische Leitfähigkeit von Hartmetall

Der spezifische Widerstand von Hartmetall beträgt $20 \mu\Omega\cdot\text{cm} \pm 5 \mu\Omega\cdot\text{cm}$ und die Leitfähigkeit beträgt $510 \text{ MS/m} \pm 0,5 \text{ MS/m}$, was zwischen Kupfer (58 MS/m) und Keramik ($<0,1 \text{ MS/m}$) liegt und durch WC (spezifischer Widerstand $15 \mu\Omega\cdot\text{cm} \pm 2 \mu\Omega\cdot\text{cm}$, Elektronenbeweglichkeit $>2 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s} \pm 10^3 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$) und Co (spezifischer Widerstand $6 \mu\Omega\cdot\text{cm} \pm 1 \mu\Omega\cdot\text{cm}$) bestimmt wird. Die Leitfähigkeit von Hartmetall mit 10 % Co beträgt $8 \text{ MS/m} \pm 0,5 \text{ MS/m}$, und die von Hartmetall mit 12 % Ni steigt auf $10 \text{ MS/m} \pm 0,5 \text{ MS/m}$, da Ni eine höhere Elektronenleitfähigkeit hat (Mobilität $>1,5 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s} \pm 10^3 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$).

Elektrische Leitfähigkeit unterstützt die Elektrobearbeitung und Elektrolyse. Beim EDM (Stromdichte $>10^4 \text{ A/cm}^2 \pm 10^3 \text{ A/cm}^2$, Impulsbreite $0,1 \text{ ms} \pm 0,01 \text{ ms}$) beträgt die Verarbeitungsgeschwindigkeit von Hartmetallformen mit 10 % Co $>0,5 \text{ mm/min} \pm 0,05 \text{ mm/min}$, und die Oberflächenrauheit $R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$ ist besser als die von Stahlformen ($R_a > 0,5 \mu\text{m}$). Die Elektrode mit 8 % Ni läuft 5.000 Stunden im Elektrolyten (pH 3, H_2SO_4 , Konzentration 1 mol/l), und die Leitfähigkeit wird bei $9 \text{ MS/m} \pm 0,5 \text{ MS/m}$ gehalten, und die Korrosionstiefe beträgt $<5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$.

Beispielsweise hat eine Elektrode mit 12 % Ni einen Wirkungsgrad von $>95 \% \pm 2 \%$ und eine Lebensdauer von $>5000 \text{ Stunden} \pm 500 \text{ Stunden}$ in einem Elektrolyseur neuer Energie (Stromdichte $>500 \text{ A/m}^2 \pm 50 \text{ A/m}^2$, Temperatur $60^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$).

Bei hohen Temperaturen (600°C) sinkt die Leitfähigkeit aufgrund von Elektronenstreuung (Mobilitätsabnahme $<10^4 \text{ cm}^2/\text{Vs} \pm 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) auf $7 \text{ MS/m} \pm 0,5 \text{ MS/m}$ (Abnahme $<15 \% \pm 2 \%$), bei feuchter Hitze (40°C , 90 % Luftfeuchtigkeit, 168 Stunden) sinkt die Leitfähigkeit aufgrund von Co-Mikrokorrosion (Gewichtsverlust $<0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,02 \text{ mg/cm}^2$) um $<3 \% \pm 0,5 \%$, bei hohem Druck ($>100 \text{ MPa}$, Tiefsee) steigt die Leitfähigkeit aufgrund von Gitterkompression um $2 \% \pm 0,3 \%$ (Gitterkonstante nimmt um $0,1 \% \pm 0,02 \%$ ab), bei extremer Kälte (40°C) steigt die Leitfähigkeit um $3 \% \pm 0,5 \%$; und bei Strahlung (10^4 Gy) sinkt die Leitfähigkeit aufgrund von Oberflächendefekten um $<1 \pm 0,2 \%$. Cr-haltiges Hartmetall ($0,5 \%/1 \%$) bildet Cr_2O_3 (spezifischer Widerstand $>10^6 \Omega\cdot\text{cm} \pm 10^5 \Omega\cdot\text{cm}$), die Oberflächenleitfähigkeit sank um $5 \pm 1 \%$, der Kern blieb jedoch stabil.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beispielsweise blieb die Leitfähigkeit der Cr-haltigen Elektrode nach 3-jährigem Betrieb in einer Meeresumgebung (pH-Wert 8, Salzgehalt 3,5 %, 5000 m) bei $8 \text{ MS/m} \pm 0,5 \text{ MS/m}$, was besser ist als die des Co-haltigen Materials (Abnahme $>5 \% \pm 1 \%$).

Die Optimierung erfordert die Zugabe von Ni und eine hohe Dichte ($>99 \% \pm 0,1 \%$). Drähte mit 12 % Ni weisen eine Widerstandsänderung von $<2 \% \pm 0,5 \%$ und einen Signalfehler von $<0,1 \% \pm 0,02 \%$ in Luft- und Raumfahrtsensoren (500°C , Schwingfrequenz $>10^3 \text{ Hz} \pm 100 \text{ Hz}$) auf. Vergleiche verschiedener Bereiche zeigen, dass Hartmetall leitfähiger ist als Keramik und Glas, aber schlechter als Kupfer und Silber ($>50 \text{ MS/m}$).

3.4.1.1 Prüfverfahren für die Leitfähigkeit von Hartmetall

Leitfähigkeitsprüfmethoden gewährleisten die Bewertung der elektrischen Leistung. Zu den gängigen Techniken gehören:

Vier-Sonden-Methode (ASTM B193)

mit 10 % Co ($8 \text{ MS/m} \pm 0,5 \text{ MS/m}$) verwendet eine Probe von $20 \times 10 \times 2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, einen Strom von $1 \text{ A} \pm 0,01 \text{ A}$, einen Sondenabstand von $1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, eine Spannungsauflösung von $0,1 \mu\text{V} \pm 0,05 \mu\text{V}$ und einen Fehler von $<2 \% \pm 0,5 \%$. Die Umgebungsanforderungen sind $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ und die Oberfläche $R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$.

Wirbelstromprüfung (ASTM E1004)

Hartmetall mit 12 % Ni ($10 \text{ MS/m} \pm 0,5 \text{ MS/m}$) verwendet eine Frequenz von $10 \text{ kHz} \pm 0,1 \text{ kHz}$, einen Spulendurchmesser von $5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, eine Signalauflösung von $0,1 \mu\text{S} \pm 0,05 \mu\text{S}$, einen Fehler von $<3 \% \pm 0,5 \%$ und ist für komplexe Formen geeignet.

Widerstandsmessgerät (ASTM D257)

Das Hartmetall mit 8 % Co ($20 \mu\Omega \cdot \text{cm} \pm 5 \mu\Omega \cdot \text{cm}$) hat einen Probendurchmesser von $10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, eine Dicke von $2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, eine Genauigkeit von $0,1 \mu\Omega \cdot \text{cm} \pm 0,05 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ und einen Fehler von $<5 \% \pm 1 \%$.

Hall-Effekt-Test

Für Ni-haltiges Hartmetall (Mobilität $> 1,5 \times 10^4 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s} \pm 10^3 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$) werden ein Magnetfeld von $0,5 \text{ T} \pm 0,01 \text{ T}$ und ein Strom von $10 \text{ mA} \pm 0,1 \text{ mA}$ mit einem Fehler von $<5 \% \pm 1 \%$ verwendet, was für die Analyse des elektronischen Verhaltens geeignet ist.

Beispielsweise bestehen Elektroden mit 12 % Ni den Vier-Sonden- und Wirbelstromtest ($10 \text{ MS/m} \pm 0,5 \text{ MS/m}$) und gewährleisten so eine Zelllebensdauer von $>5000 \text{ Stunden} \pm 500 \text{ Stunden}$.

3.4.1.2 Faktoren, die die Leitfähigkeit von Hartmetall beeinflussen

Die elektrische Leitfähigkeit wird beeinflusst durch:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Element

Wenn der Co-Gehalt von 10 % auf 15 % steigt, erhöht sich die Leitfähigkeit aufgrund der hohen Leitfähigkeit der Co-Phase (spezifischer Widerstand $6 \mu\Omega \cdot \text{cm} \pm 1 \mu\Omega \cdot \text{cm}$). Ni (12 %) steigt aufgrund der höheren Elektronenbeweglichkeit von Ni auf $10 \text{ MS/m} \pm 0,5 \text{ MS/m}$. TiC (15 %) sinkt aufgrund des hohen Widerstands von TiC ($> 50 \mu\Omega \cdot \text{cm} \pm 5 \mu\Omega \cdot \text{cm}$) auf $7 \text{ MS/m} \pm 0,5 \text{ MS/m}$. Cr (0,5 % 1 %) sinkt aufgrund der Isolierung von Cr_2O_3 (spezifischer Widerstand $> 10^6 \Omega \cdot \text{cm} \pm 10^5 \Omega \cdot \text{cm}$) auf $7,5 \text{ MS/m} \pm 0,5 \text{ MS/m}$.

Technologie

Die Sintertemperatur ($1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) verbessert den WCCo-Kontakt (Kontaktfläche $> 90\% \pm 2\%$), und die Leitfähigkeit steigt um $3\% \pm 0,5\%$. HIP ($100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) reduziert die Porosität ($< 0,1\% \pm 0,02\%$) und erhöht sie um $2\% \pm 0,3\%$. Übertemperatur ($> 1550^\circ\text{C}$) führt zur Co-Segregation, die um $3\% \pm 0,5\%$ sinkt. Polieren ($R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$) reduziert den Kontaktwiderstand ($< 0,1 \mu\Omega \pm 0,02 \mu\Omega$) und erhöht ihn um $1\% \pm 0,2\%$.

Umfeld

Hohe Temperaturen (600°C) nehmen aufgrund von Elektronenstreuung um $15\% \pm 2\%$ ab; feuchte Hitze (40°C , 90 % Luftfeuchtigkeit) nimmt aufgrund von Co-Korrosion um $< 3\% \pm 0,5\%$ ab; hoher Druck ($> 100 \text{ MPa}$) nimmt aufgrund von Gitterkompression um $2\% \pm 0,3\%$ zu; extreme Kälte (40°C) nimmt um $3\% \pm 0,5\%$ zu; Strahlung (10^4 Gy) nimmt um $< 1\% \pm 0,2\%$ ab.

Probengeometrie: Dicke ($> 2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$) reduziert den Grenzwiderstand ($< 0,1 \mu\Omega \pm 0,02 \mu\Omega$) und erhöht sich um $2\% \pm 0,3\%$; Oberflächenrauheit ($R_a > 0,4 \mu\text{m}$) verursacht Streuung und verringert sich um $1\% \pm 0,2\%$.

Elektrische Feldbedingungen: Hochfrequenter Wechselstrom ($> 10 \text{ kHz} \pm 0,1 \text{ kHz}$) verursacht einen Skin-Effekt (Tiefe $< 0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), der um $2\% \pm 0,3\%$ reduziert wird; die Leitfähigkeit ist unter Gleichstrom stabil.

Beispielsweise hält ein Draht mit 12 % Ni und HIP-Verfahren ($10 \text{ MS/m} \pm 0,5 \text{ MS/m}$) in einem Luft- und Raumfahrtsensor (500°C) eine Leitfähigkeit von $9,8 \text{ MS/m} \pm 0,5 \text{ MS/m}$ mit einem Signalfehler von $< 0,1\% \pm 0,02\%$. Zur Optimierung sind Ni-Zugabe und HIP erforderlich.

3.4.2 Magnetische Eigenschaften von Hartmetall

Die magnetischen Eigenschaften von Hartmetall werden hauptsächlich durch die Co-Phase (kubisch flächenzentriert FCC, Curietemperatur $1120^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) bestimmt, mit einer Sättigungsmagnetisierung von $1400 \text{ kA/m} \pm 50 \text{ kA/m}$ (mit 10 % Co), einer magnetischen Permeabilität von $1,05 \pm 0,01$ und einer Koerzitivkraft von $1020 \text{ kA/m} \pm 1 \text{ kA/m}$. Hartmetall mit 12 % Ni ist nahezu nicht magnetisch (Sättigungsmagnetisierung $< 10 \text{ kA/m} \pm 2 \text{ kA/m}$, magnetische Permeabilität $< 1,01 \pm 0,01$), da Ni schwach ferromagnetisch ist (magnetisches Moment $0,6 \mu_B$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$/\text{Ni} \pm 0,1 \mu_B / \text{Ni}$).

Magnetismus unterstützt Detektion und Adsorption. In der Präzisionsbearbeitung (Adsorptionskraft $> 100 \text{ N/cm}^2 \pm 10 \text{ N/cm}^2$, Positionsabweichung $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$) beträgt die Adsorptionseffizienz von Hartmetallvorrichtungen mit $6 \% \text{ Co} > 98 \% \pm 1 \%$ und ist damit besser als bei Stahlvorrichtungen (Abweichung $> 0,05 \text{ mm}$). In Kernspintomographiegeräten (MRT, Magnetfeld $1,5 \text{ T} \pm 0,1 \text{ T}$) beträgt das Störmagnetfeld von Ni-haltigem Hartmetall $< 0,1 \mu\text{T} \pm 0,02 \mu\text{T}$ und ist damit besser als bei Co-haltigen Materialien (Störfeld $> 1 \mu\text{T}$). Beispielsweise beträgt in der Weltraumnavigation (Vibrationsfrequenz $> 10^3 \text{ Hz} \pm 100 \text{ Hz}$) die magnetische Interferenz von Sensorgehäusen mit $12 \% \text{ Ni} < 0,05 \mu\text{T} \pm 0,01 \mu\text{T}$ und der Signalfehler $< 0,1 \% \pm 0,02 \%$.

Bei hohen Temperaturen (600°C) verringert sich die Magnetisierungsintensität aufgrund der Nähe des Co-Curie-Punkts (thermische Schwingung $> 10^{12} \text{ Hz} \pm 10^{11} \text{ Hz}$) um $20 \% \pm 2 \%$ (auf $1100 \text{ kA/m} \pm 50 \text{ kA/m}$); bei feuchter Hitze (40°C , 90% Luftfeuchtigkeit, 168 Stunden) verringert sich die Magnetisierungsintensität aufgrund von Co-Mikrokorrosion (Gewichtsverlust $< 0,1 \text{ mg/cm}^2 \pm 0,02 \text{ mg/cm}^2$) um $< 2 \% \pm 0,5 \%$; bei hohem Druck ($> 100 \text{ MPa}$) erhöht sich die Magnetisierungsintensität aufgrund von Gitterkompression um $1 \% \pm 0,3 \%$ (Gitterkonstante verringert sich um $0,1 \pm 0,02 \%$); bei extremer Kälte (40°C) erhöht sich die Magnetisierungsintensität aufgrund eines verstärkten magnetischen Moments um $2 \pm 0,3 \%$; Bei Bestrahlung (10^4 Gy) verringert sich die Magnetisierungsintensität aufgrund von Oberflächendefekten um $< 1 \% \pm 0,2 \%$. Die Magnetisierungsintensität von Cr-haltigem Hartmetall ($0,5 \% \text{ Cr}$) verringert sich aufgrund der antiferromagnetischen Natur von Cr (magnetisches Moment $< 0,1 \mu_B / \text{Cr} \pm 0,02 \mu_B / \text{Cr}$) um $5 \% \pm 1 \%$.

Beispielsweise ist ein Cr-haltiges Sensorgehäuse in der Luftfahrt (500°C , O_2 -Partialdruck $0,21 \text{ atm} \pm 0,01 \text{ atm}$) seit 3 Jahren mit magnetischen Interferenzen $< 0,05 \mu\text{T} \pm 0,01 \mu\text{T}$ im Einsatz, was besser ist als bei Co-haltigen Materialien (Interferenzen $> 0,1 \mu\text{T}$).

Zur Optimierung wird Co durch Ni ersetzt und Cr wird in geringem Maße zugegeben. Beim Magnetschleifen (Magnetfeld $0,5 \text{ T} \pm 0,01 \text{ T}$, Schleifgeschwindigkeit $> 1 \text{ m/s} \pm 0,1 \text{ m/s}$) verbessert sich die Effizienz von Hartmetall mit $10 \% \text{ Co}$ um $20 \% \pm 3 \%$, und die Oberflächenrauigkeit $R_a < 0,1 \pm 0,02 \mu\text{m}$. Ein Feldvergleich zeigt, dass die magnetischen Eigenschaften von Hartmetall besser sind als die von nichtmagnetischer Keramik (magnetische Permeabilität $< 1,001$), aber schlechter als die von reinem Co ($> 2000 \text{ kA/m}$).

3.4.2.1 Magnetisches Prüfverfahren für Hartmetall

Magnetische Prüfmethoden gewährleisten die Bewertung der magnetischen Leistung. Zu den gängigen Techniken gehören:

Vibrierendes Probenmagnetometer (VSM, ASTM A894)

Hartmetall mit $10 \% \text{ Co}$ ($1400 \text{ kA/m} \pm 50 \text{ kA/m}$) verwendet eine Probe von $5 \times 5 \times 2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ein Magnetfeld von $1 \text{ T} \pm 0,01 \text{ T}$, eine Schwingfrequenz von $55 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$, eine Auflösung der Magnetisierungsintensität von $0,1 \text{ kA/m} \pm 0,05 \text{ kA/m}$ und einen Fehler von $< 2 \% \pm 0,5 \%$. Die Umgebungstemperatur beträgt $25 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Flussmessgerät (ASTM A773)

Das Hartmetall mit 6 % Co (Koerzitivfeldstärke $10 \text{ kA/m} \pm 1 \text{ kA/m}$) hat einen Probendurchmesser von $10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, eine Dicke von $2 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, eine Genauigkeit von $0,1 \text{ kA/m} \pm 0,05 \text{ kA/m}$ und einen Fehler von $< 3 \% \pm 0,5 \%$.

Hall-Effekt-Test (ASTM F76)

Für Ni-haltiges Hartmetall (Interferenz $< 0,1 \text{ } \mu\text{T} \pm 0,02 \text{ } \mu\text{T}$) werden ein Magnetfeld von $0,5 \text{ T} \pm 0,01 \text{ T}$, ein Strom von $10 \text{ mA} \pm 0,1 \text{ mA}$, eine Spannungsauflösung von $0,1 \text{ } \mu\text{V} \pm 0,05 \text{ } \mu\text{V}$ und ein Fehler von $< 5 \% \pm 1 \%$ verwendet.

Magnetkraftmikroskopie (MFM)

Die Hartlegierung mit 10 % Co (magnetische Domänengröße $< 1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,2 \text{ } \mu\text{m}$) verwendet eine Sondaauflösung von $< 10 \text{ nm} \pm 2 \text{ nm}$, einen Scanbereich von $10 \times 10 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,1 \text{ } \mu\text{m}$ und einen Fehler von $< 5 \% \pm 1 \%$, was für die mikroskopische magnetische Analyse geeignet ist.

Beispielsweise besteht das Sensorgehäuse mit 12 % Ni die VSM- und Hall-Tests (Interferenz $< 0,1 \text{ } \mu\text{T} \pm 0,02 \text{ } \mu\text{T}$) und gewährleistet so eine Lebensdauer bei der Weltraumnavigation von $> 3 \text{ Jahren} \pm 0,3 \text{ Jahren}$.

3.4.2.2 Faktoren, die die magnetischen Eigenschaften von Hartmetall beeinflussen

Magnetische Eigenschaften werden beeinflusst durch:

Element

Wenn der Co-Gehalt von 6 % auf 15 % steigt, erhöht sich die Magnetisierung aufgrund des erhöhten magnetischen Moments von Co ($1,7 \text{ } \mu_{\text{B}}/\text{Co} \pm 0,1 \text{ } \mu_{\text{B}}/\text{Co}$) von 1000 auf $1600 \text{ kA/m} \pm 50 \text{ kA/m}$. Ni (12 %) sinkt aufgrund des schwachen Magnetismus von Ni ($0,6 \text{ } \mu_{\text{B}}/\text{Ni} \pm 0,1 \text{ } \mu_{\text{B}}/\text{Ni}$) auf $< 10 \text{ kA/m} \pm 2 \text{ kA/m}$. Cr (0,5 % 1 %) sinkt aufgrund des Antiferromagnetismus von Cr auf $1300 \text{ kA/m} \pm 50 \text{ kA/m}$. TiC (15 %) hat keinen signifikanten Effekt (Änderung der magnetischen Permeabilität $< 0,01 \pm 0,002$).

Technologie

Die Sintertemperatur ($1450 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$) gewährleistet die Gleichmäßigkeit der Co-Phase (Verteilungsfehler $< 5 \% \pm 1 \%$) und erhöht die Magnetisierungsintensität um $3 \% \pm 0,5 \%$. HIP ($100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) reduziert Defekte (Porosität $< 0,1 \% \pm 0,02 \%$) und erhöht die Magnetisierungsintensität um $2 \% \pm 0,3 \%$. Zu hohe Temperaturen ($> 1550 \text{ }^{\circ}\text{C}$) führen zur Co-Verflüchtigung (Verlust $< 5 \% \pm 1 \%$) und verringern die Magnetisierungsintensität um $5 \% \pm 1 \%$.

Umfeld

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hohe Temperaturen (600 °C) nehmen aufgrund thermischer Schwingungen um $20\% \pm 2\%$ ab; feuchte Hitze (40 °C, 90 % Luftfeuchtigkeit) nimmt aufgrund von Co-Korrosion um $< 2\% \pm 0,5\%$ ab; hoher Druck (> 100 MPa) nimmt um $1\% \pm 0,3\%$ zu; extreme Kälte (40 °C) nimmt um $2\% \pm 0,3\%$ zu; Strahlung (10^4 Gy) nimmt um $< 1\% \pm 0,2\%$ ab.

Probengeometrie: Dicke (> 2 mm $\pm 0,1$ mm) verringert den Entmagnetisierungseffekt (Koeffizient $< 0,9 \pm 0,1$) um $2\% \pm 0,3\%$; Oberflächenrauheit ($R_a > 0,4$ μm) bewirkt magnetische Domänenfixierung um $1\% \pm 0,2\%$.

Magnetfeldbedingungen

Hochfrequente Magnetfelder (> 10 kHz $\pm 0,1$ kHz) verursachen Wirbelstromverluste (Verluste > 1 W/cm³ $\pm 0,1$ W/cm³), die um $2\% \pm 0,3\%$ abnehmen; die magnetischen Eigenschaften bleiben unter statischen Magnetfeldern stabil.

Beispielsweise behält eine Vorrichtung mit 6 % Co und HIP-Prozess (1400 kA/m ± 50 kA/m) während der Hochtemperaturverarbeitung (500 °C) eine Magnetisierung von 1350 kA/m ± 50 kA/m bei, und die Adsorptionseffizienz liegt bei $> 98\% \pm 1\%$. Die Optimierung erfordert eine geringe Co- und Ni-Substitution.

3.4.2.3 Magnetische Sättigung von Hartmetall

Die magnetische Sättigung (M_s) von Hartmetall ist ein Schlüsselparameter zur Messung der Magnetisierungsintensität, wenn die Kobaltbindephase unter einem starken Magnetfeld den maximalen Magnetisierungszustand erreicht. Sie wird in μTm³/kg gemessen und spiegelt direkt den Kobaltgehalt, den Mikrostrukturzustand und die Integrität des Kohlenstoffhaushalts wider. Als Kernindikator der zerstörungsfreien Prüfung von Hartmetall spielt die magnetische Sättigungsprüfung eine unersetzliche Rolle in der Qualitätskontrolle und Leistungsoptimierung.

Technisches Prinzip

Die Kobaltphase ist unter einem ausreichend starken externen Magnetfeld (normalerweise $> 1,5$ T) vollständig entlang der Richtung des Magnetfelds ausgerichtet und erreicht die maximale Magnetisierungsintensität. An diesem Punkt wird der M_s -Wert hauptsächlich durch den Kobaltgehalt und die Reinheit bestimmt, da die harte Phase (wie Wolframkarbid WC) ein nicht magnetisches Material ist und nicht zum Magnetismus beiträgt. Die magnetische Sättigungsintensität von reinem Kobalt beträgt 16,1–16,3 μTm³/kg, und der M_s -Wert von Hartmetall kann linear anhand des Gewichtsanteils von Kobalt geschätzt werden. Beispielsweise beträgt der theoretische M_s -Wert der YG8-Legierung mit 8 % Kobalt 1,29–1,30 μTm³/kg.

M_s und der theoretische Wert können zur Bestimmung von Zusammensetzungsanomalien oder mikroskopischen Defekten verwendet werden, wie z. B. dem Vorhandensein der η-Phase (Co_3C) oder von freiem Kohlenstoff (C). Die η-Phase reduziert M_s um 10–20 %, freier Kohlenstoff um 5–10 %. Diese Veränderungen bilden eine quantitative Grundlage für die Defekterkennung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Messmethode

Die Prüfung der magnetischen Sättigung erfolgt üblicherweise mit einem Magnetanalysator (z. B. Koerzimat 1.097 oder Sigmameter 2.068) oder einem Vibrationsmagnetometer (VSM). Die Prüfschritte umfassen Folgendes:

Probenvorbereitung

Wählen Sie eine Hartmetallprobe (z. B. einen Werkzeugrohling, Größe 5–10 mm, Zylinder oder Würfel), reinigen Sie die Oberfläche (verwenden Sie Ethanol, um Öl und Oxidschichten zu entfernen) und wiegen Sie die Masse ($\pm 0,01$ g), um die Magnetisierungsintensität pro Masseneinheit zu berechnen.

Magnetisierungsprozess

Die Probe wird einem starken Magnetfeld (1,5–2 T) ausgesetzt. Mithilfe eines elektromagnetischen Sättigungsmagnetisierungsgeräts wird sichergestellt, dass die Kobaltphase vollständig magnetisiert ist. Die Magnetfeldstärke muss die Sättigungsmagnetisierungsschwelle von Kobalt überschreiten, um eine Untermagnetisierung und damit eine Unterschätzung von M_s zu vermeiden.

Datenerhebung

Notieren Sie den M_s -Wert ($\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) und ermitteln Sie den Kobaltgehalt mithilfe der Formel $M_{s_Legierung} = M_{s_reines\ Kobalt} \times \text{Kobalt-Gewichtsprozentsatz}$ ($M_{s_reines\ Kobalt} = 16,2 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$). Die Messgenauigkeit liegt bei $\pm 0,5$ % und die Wiederholbarkeit bei < 2 %.

Ergebnisanalyse

Wenn die Abweichung vom M_s -Zielwert $> \pm 0,5$ % beträgt (z. B. der gemessene M_s -Wert von YG8 $< 1,23 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ oder $> 1,35 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$), deutet dies auf einen Chargenfehler oder Defekt hin. Bei Bedarf kann dies durch eine Kombination aus Röntgenbeugung (XRD, Erkennung der η -Phase $2\theta \approx 40^\circ$) oder metallografischer Analyse überprüft werden.

Einflussfaktoren

Die magnetische Sättigung von Hartmetall wird von vielen Faktoren beeinflusst, darunter:

Kobaltgehalt

M_s ist proportional zum Kobaltgehalt. Steigt der Kobaltgehalt von 6 % auf 15 %, erhöht sich M_s von $0,97 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ (YG6) auf $3,24 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ (theoretischer Wert). Ein zu hoher Kobaltgehalt (> 15 %) kann jedoch die Härte verringern (HRA sinkt von 91 auf 89), sodass Leistungseinbußen erforderlich sind.

Kohlenstoffbilanz

Ein Ungleichgewicht im Kohlenstoffgehalt führt zur η -Phase oder zu freiem Kohlenstoff. Die η -Phase führt zu einer Abnahme von M_s um 10–20 % (z. B. YG8 von 1,29 auf $1,0 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) und zu einer Abnahme des freien Kohlenstoffs um 5–10 % (von 1,29 auf $1,16 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$), was eine Anpassung des Kohlenstoffgehalts ($6,0 \pm 0,2$ Gew.-%) erforderlich macht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mikrostruktur

Die Korngröße beeinflusst die Ms-Stabilität. Bei feinkörnigen Legierungen ($0,2-0,5\ \mu\text{m}$) schwankt Ms um weniger als 1 %, während Ms bei grobkörnigen Legierungen ($> 5\ \mu\text{m}$) aufgrund ungleichmäßiger Korngrenzen um 2–3 % schwanken kann.

Sinterprozess

Hohe Temperaturen ($> 1500\ ^\circ\text{C}$) führen zur Verflüchtigung oder Oxidation von Kobalt (Ms nimmt um 5–8 % ab), während niedrige Temperaturen und HIP (150 MPa, $1350\ ^\circ\text{C}$) die Dichte erhöhen ($> 99,5\ %$) und Ms um 3–5 % ansteigt.

Umweltfaktoren

Hohe Temperaturen ($800 - 1000\ ^\circ\text{C}$) reduzieren Ms um 5 – 10 % (z. B. sinkt YG10 von 1,61 auf $1,45\ \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ bei $1000\ ^\circ\text{C}$), und feuchte Hitze ($40\ ^\circ\text{C}$, 90 % Luftfeuchtigkeit) reduziert es aufgrund von Co-Mikrokorrosion um $< 2\ %$.

Anwendungsszenario

Magnetische Sättigungstests werden häufig bei der Herstellung und Leistungsbewertung von Hartmetall eingesetzt:

Qualitätskontrolle

Überprüfen Sie den Kobaltgehalt und die Kohlenstoffbilanz, z. B. YG6 ($\text{Ms} = 0,97\ \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) Härte HRA 90–91, YG8 ($\text{Ms} = 1,29\ \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) Zähigkeit KIC $10-12\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$.

Fehlererkennung

$\text{Ms} < 90\ %$ des erwarteten Werts (z. B. YG8 $< 1,16\ \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) weist auf die η -Phase hin, und $> 110\ %$ ($> 1,42\ \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) weist auf freien Kohlenstoff hin, der als Richtschnur für die Anpassung der Formulierung dient.

Leistungsvorhersage

Ms (Abweichung $< \pm 0,3\ %$) entspricht einer hohen Verschleißfestigkeit (z. B. Schnittlebensdauer > 3 Stunden), während eine Schwankung von $\text{Ms} > 1\ %$ auf eine Abnahme der Zähigkeit hinweist ($\text{KIC} < 8\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).

Beispiele

In einem Tiefseebohrer (Druck 50 MPa, Temperatur $40\ ^\circ\text{C}$) gewährleistete die Legierung mit 6 % Co eine Härte von HRA 92 im Ms-Test ($0,97\ \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) und eine Lebensdauer von > 300 Stunden, was besser ist als beim ungetesteten Bohrer (Lebensdauer < 200 Stunden).

Datenunterstützung

Benchmarkwert

Reines Kobalt $\text{Ms} = 16,1-16,3\ \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, YG6 $\text{Ms} = 0,97\ \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, YG8 $\text{Ms} = 1,29\ \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, Nanolegierung ($0,05-0,2\ \mu\text{m}$) $\text{Ms} = 1,1-1,3\ \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Auswirkungen des Defekts

Die η -Phase reduziert M_s um 10–20 %, freien Kohlenstoff um 5–10 % und Oxidation (1000 °C) um 5–8 %.

3.4.2.3 Koerzitivkraft von Hartmetall

Die Koerzitivkraft (H_c) von Hartmetall ist ein wichtiger Parameter zur Messung der Widerstandsfähigkeit der Kobaltbindephase gegen Entmagnetisierung. Sie wird in kA/m gemessen und spiegelt direkt die Korngröße, die Mikrostrukturverteilung und die Sinterqualität wider. Die Koerzitivkraftmessung spielt eine Schlüsselrolle bei der Leistungsbewertung und Anwendungsanpassung von Hartmetall, insbesondere bei der Auswahl von Produkten mit hoher Härte und Zähigkeit.

Technisches Prinzip

Die Koerzitivkraft gibt die Stärke des Magnetfelds an, die zum Anlegen eines umgekehrten Magnetfelds erforderlich ist, um die Magnetisierungsintensität der Kobaltphase vom Sättigungszustand auf Null zu reduzieren. Der H_c -Wert ist umgekehrt proportional zur Korngröße der Kobaltphase. Feine Körner (0,2–0,5 μm) weisen eine höhere magnetokristalline Anisotropie auf, und der H_c -Wert kann 25–40 kA/m erreichen. Grobe Körner ($> 5 \mu\text{m}$) neigen hingegen aufgrund ihrer Magnetisierung leicht zum Umkippen, und der H_c -Wert liegt üblicherweise unter 10 kA/m. Darüber hinaus wird der H_c -Wert auch von der Gleichmäßigkeit der Kobaltphasenverteilung, Defekten (wie Poren, η -Phase) und dem Sinterprozess beeinflusst. Ein hoher H_c -Wert einer feinkörnigen Struktur entspricht einer hohen Härte (HRA 89–92), ein niedriger H_c -Wert einer grobkörnigen Struktur entspricht einer hohen Zähigkeit (KIC 15–20 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). Daher ist H_c ein wichtiger Indikator für die Optimierung der Mikrostruktur.

Messmethode

Der Koerzitivfeldstärkentest wird üblicherweise mit einem Permanentmagnet-Koerzitivfeldstärkenmessgerät oder einem Magnetanalysator durchgeführt. Die einzelnen Schritte sind wie folgt:

Probenvorbereitung

Wählen Sie eine Hartmetallprobe (z. B. einen Formrohling, Größe 5–10 mm), reinigen Sie die Oberfläche (entfernen Sie Öl- und Oxidschichten) und stellen Sie sicher, dass keine magnetischen Störungen vorliegen.

Magnetisierung und Entmagnetisierung

Die Probe wird zunächst in ein starkes Magnetfeld (1,5–2 T) gelegt, um vollständig magnetisiert zu werden, und dann wird ein allmählich zunehmendes umgekehrtes Magnetfeld angelegt.

Datenerhebung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hc, kA/m), wodurch die Magnetisierungsintensität auf Null abfällt, und die Messgenauigkeit wird auf ± 1 % geregelt und die Wiederholbarkeit liegt bei < 2 %.

Ergebnisanalyse

durch den Hc-Wert: > 20 kA/m ist eine feinkörnige Struktur und < 10 kA/m ist eine grobkörnige Struktur. Wenn die Hc-Schwankung > 10 % beträgt (z. B. bei YG8 von 15 kA/m auf 25 kA/m), deutet dies auf ungleichmäßiges Sintern oder Defekte hin und die Korngrenzen müssen in Kombination mit SEM (500-fache Vergrößerung) beobachtet werden.

Einflussfaktoren

Die Koerzitivkraft von Hartmetall wird durch eine Reihe von Faktoren beeinflusst, darunter:

Körnung

Hc ist umgekehrt proportional zur Korngröße. Feinkörnige Legierungen ($0,2 \mu\text{m}$) haben Hc = 30–40 kA/m, grobkörnige Legierungen ($5 \mu\text{m}$) haben Hc = 5–10 kA/m. Nanoskalige Legierungen ($0,05$ – $0,2 \mu\text{m}$) haben Hc bis zu 50–60 kA/m.

Kobaltgehalt

Durch Erhöhen des Kobaltgehalts (6 % bis 15 %) lässt sich die Magnetisierung der Kobaltphase leichter umkehren und Hc nimmt leicht ab (10–15 %), der Effekt ist jedoch begrenzt.

Kohlenstoffbilanz

Die η -Phase verringert Hc um 5–10 % (z. B. verringert sich YG8 von 15 auf 13 kA/m), und der freie Kohlenstoff hat nur eine geringe Wirkung (< 2 %).

Sinterprozess

Hohe Temperaturen (> 1500 °C) führen zu einer Vergrößerung der Körner und reduzieren Hc von 20 kA/m auf 8 kA/m; HIP (150 MPa, 1350 °C) verbessert die Gleichmäßigkeit und erhöht Hc um 5–10 %.

Defekte und Stress

Bei einer Porosität von $> 0,1$ % oder einer Restspannung (> 100 MPa) schwankt der Hc-Wert um 10–15 %, und die Dichte muss optimiert werden ($> 99,5$ %).

Umweltfaktoren

Hohe Temperaturen (800 °C) reduzieren Hc um 5–8 % (z. B. sinkt YG10 von 18 auf 16 kA/m), während feuchte Hitze (40 °C, 90 % Luftfeuchtigkeit) weniger als 2 % beeinflusst.

Anwendungsszenario

Die Prüfung der Koerzitivfeldstärke ist bei Hartmetallanwendungen von vielfältigem Nutzen:

Leistungsklassifizierung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hoher Hc-Wert ($> 25 \text{ kA/m}$) eignet sich für Werkzeuge mit hoher Härte (wie PCB-Bohrer, HRA > 92 , Lebensdauer > 4 Stunden); niedriger Hc-Wert ($< 10 \text{ kA/m}$) eignet sich für Formen mit hoher Zähigkeit (wie Bergbau-Bohrer, KIC $> 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, Lebensdauer > 200 Stunden).

Prozessoptimierung

Hc (Schwankung $> 10 \%$) weist auf grobe Körner oder ungleichmäßiges Sintern hin, was eine Temperaturanpassung ($1350\text{--}1450 \text{ }^\circ\text{C}$) oder die Zugabe von Korninhibitoren (wie VC $0,2\text{--}0,5 \text{ Gew.}\%$) zur Folge haben kann.

Fehlererkennung

in Hc (z. B. von 15 auf 13 kA/m für YG8) kann auf die η -Phase zurückzuführen sein, die eine Anpassung des Kohlenstoffgehalts ($6,0 \pm 0,2 \text{ Gew.}\%$) erfordert.

Beispiele

Beim Stanzen von Stahlblechen im Automobilbereich (Belastung $> 2000 \text{ MPa}$, Frequenz $> 10^4$ Mal/Stunde) gewährleisten Matrizen mit 8% Co eine Härte HRA 90 und eine Bruchrate $< 0,5 \%$ im Hc-Test (15 kA/m) sowie eine Lebensdauer von > 6000 Stunden.

Datenunterstützung

Benchmarkwert

YG6 Hc $= 15\text{--}20 \text{ kA/m}$, YG8 Hc $= 10\text{--}15 \text{ kA/m}$, Nanolegierung Hc $= 50\text{--}60 \text{ kA/m}$.

Auswirkungen des Defekts

Die η -Phase verringert Hc um $5\text{--}10 \%$, eine Porosität von $0,1 \%$ verringert Hc um $10\text{--}15 \%$ und eine hohe Temperatur ($800 \text{ }^\circ\text{C}$) verringert es um $5\text{--}8 \%$.

3.5 Zusammenfassung und Ausblick

Hartmetall (Härte HV $1500\text{--}2500 \pm 30$, Zähigkeit $K_{IC} 820 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, Druck-/Biegefestigkeit $> 4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, Wärmeleitfähigkeit $80\text{--}120 \text{ W/m} \cdot \text{K} \pm 5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, Wärmeausdehnungskoeffizient $46 \times 10^{-6} / \text{K} \pm 0,1 \times 10^{-6} / \text{K}$, Hochtemperaturstabilität $> 1000 \text{ }^\circ\text{C}$, Korrosionsbeständigkeit pH 212 , spezifischer Widerstand $20 \mu\Omega \cdot \text{cm} \pm 5 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, Magnetisierung der Co-Phase $1400 \text{ kA/m} \pm 50 \text{ kA/m}$) basiert auf dem synergistischen Effekt der WC-Steifigkeit, der Co/Ni-Plastizität und der Additive (TiC, TaC, Cr, Mo). In diesem Kapitel werden der Leistungsmechanismus und die Regelungsmethode umfassend dargelegt, indem die Beschreibung der Merkmale, die Prüf- und Erkennungsmethoden, die Einflussfaktoren und die Anwendungsfälle verfeinert werden.

Die mechanischen Eigenschaften (Härte, Zähigkeit, Druck-/Biegefestigkeit) eignen sich für Schneidarbeiten, Bergbau, Stanzen, die Luftfahrt und Tiefseebohrungen. Die Optimierung erfordert einen niedrigen Co-Gehalt ($6\text{--}8 \%$), TaC/Cr-Zusatz und das HIP-Verfahren.

Die thermischen Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hochtemperaturstabilität, Thermoschockbeständigkeit) gewährleisten Schneidevorgänge bei hohen Temperaturen sowie Anwendungen in Flugzeugtriebwerken und Kernkraft. Zur Optimierung sind die Zugabe von TiC, eine Al₂O₃/TiN-Beschichtung und ein gleichmäßiges Sintern erforderlich.

Die chemische Stabilität (Korrosionsbeständigkeit, Oxidationsbeständigkeit) gewährleistet den Einsatz in chemischen, maritimen und Hochtemperaturumgebungen. Zur Optimierung sind Ni/Cr/Mo-Zusätze und eine CrN/Al₂O₃-Beschichtung erforderlich.

Die elektrischen und magnetischen Eigenschaften (Leitfähigkeit, Magnetismus) unterstützen EDM, magnetische Erkennung und Luft- und Raumfahrtsensoren und optimieren den Prozess des Ersetzens von Co durch Ni und hohe Dichte.

Umweltfaktoren (hohe Temperatur 600–1000 °C, feuchte Hitze 40 °C/90 %, hoher Druck > 100 MPa, extreme Kälte 40 °C, Strahlung 10⁴ Gy) und Prozessbedingungen (Sintern 1450 °C ± 10 °C, HIP 100 MPa ± 5 MPa) wirken sich erheblich auf die Leistung aus, und Zusammensetzung und Prozess müssen den Arbeitsbedingungen angepasst werden. Beispielsweise hat das Werkzeug mit einer Beschichtung aus 8 % Co und Al₂O₃ beim Schneiden in der Luftfahrt (1000 °C) eine Lebensdauer von > 12 Stunden ± 1 Stunde, das Ventil mit NiCr kann 5 Jahre lang in der Tiefsee (5000 m) betrieben werden und der Sensor mit 12 % Ni hat in der Luft- und Raumfahrt (500 °C) einen Signalfehler von <

Leistungsregulierung von Nanoadditiven (wie VC, <0,5 %), Mehrschichtbeschichtungen (wie TiN/Al₂O₃ / TiCN, <10 µm ± 1 µm) und extremen Umgebungen (>1500 °C, >500 MPa, pH<1) sowie Kombination von maschinellem Lernen zur Vorhersage der Beziehung zwischen Zusammensetzung, Prozess und Leistung zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Hartmetall in den Bereichen Energie, Luft- und Raumfahrt sowie Kernkraft. Dieses Kapitel ist durch den Beitrag von WCCo mit Kapitel 2 (hypothetische Mikrostruktur) verknüpft und legt den Grundstein für die anschließende Prozessoptimierung (Kapitel 4) und Anwendungserweiterung (Kapitel 5).

Verweise

- Exner, HE (1979). Physikalische und chemische Eigenschaften von Hartmetallen. *International Metals Reviews* , 24(1), 149173. <https://doi.org/10.1179/imtr.1979.24.1.149>
- Exner, HE (1979). Physikalische und chemische Eigenschaften von Hartmetallen. *International Metals Reviews* , 24(1), 149173.
- Gurland , J. (1988) . Die Bruchzähigkeit von Hartmetallen. *Journal of Metals* , 40(7), 1923 .
- Lassner, E., & Schubert, WD (1999). Wolfram: Eigenschaften , *Chemie, Technologie des Elements, Legierungen und chemische Verbindungen* . Springer.
- Prakash, LJ (2014). Hartmetalle: Struktur, Eigenschaften und Leistung. In VK Sarin (Hrsg.), *Comprehensive hard materials (Band 1, S. 2954)*. Elsevier.
- Upadhyaya, GS (1998). *Hartmetalle: Herstellung, Eigenschaften und Prüfung* . William Andrew Verlag.

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

- Wang, H., & Fang, ZZ (2019). Thermische und mechanische Eigenschaften von Hartmetallen unter extremen Bedingungen. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* , 82, 7685.
- Zhang, L., & Chen, S. (2017). Korrosionsverhalten von Hartmetallen in sauren Umgebungen. *Corrosion Science* , 125, 8795 .
- Li, J., & Wang, S. (2021). Mikrostrukturelle Charakterisierung von Hartmetallen mittels fortschrittlicher Mikroskopie. *Materials Characterization* , 178, 111234 .
- Zhao, Z., & Liu, Y. (2020). Magnetische Eigenschaften von Hartmetallen mit Co- und Ni-Bindern. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* , 512, 166987 .
- Sun, J., & Zhang, W. (2021). Elastische Eigenschaften von Hartmetallen: Experimentelle und theoretische Erkenntnisse. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik: A* , 827, 141987 .
- Garcia, J., & Ciprés , VC (2018). Verschleißmechanismen von Hartmetallen bei Schneidanwendungen. *Verschleiß* , 408409, 126134.
- Garcia, J., & Ciprés , VC (2018). Verschleißmechanismen von Hartmetallen bei Schneidanwendungen. *Verschleiß* , 408409, 126134.
- Krawitz, AD, & Drake, EF (2014). Eigenspannungen in Hartmetallen. In VK Sarin (Hrsg.), *Comprehensive Hard Materials (Band 1, S. 435–452*
) . Elsevier.
- Chen, Y., & Zhou, J. (2020). Korrosionsmechanismen von Hartmetallen in Meeresumgebungen. *Meerestechnik* , 215, 107890 .
- Wang, X., & Zhang, Z. (2021). Mechanische Eigenschaften von Hartmetallen bei hohen Temperaturen. *Materials Science Forum* , 1035, 4552.
- Wang, X., & Zhang, Z. (2021). Mechanische Eigenschaften von Hartmetall bei hohen Temperaturen. *Materials Science Forum*, 1035, 4552.
- Zhang, H., & Li, X. (2022). Wärmeleitfähigkeit von Hartmetallen: Experimentelle und modellbasierte Ansätze. *Journal of Materials Research and Technology* , 18, 12341245 .
- Yang, Q., & Liu, W. (2023). Elektrische und magnetische Eigenschaften von Hartmetallen in extremen Umgebungen. *Journal of Alloys and Compounds* , 937 , 168456.
- Roebuck, B., & Almond, EA (1988). Verformungs- und Bruchprozesse in Hartmetallen. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik: A* , 105106, 237245.
- Robuck, B., & Almond, EA (1988). Verformungs- und Bruchprozesse in Hartmetallen. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik: A*, 105106, 237245.
- Fang, ZZ, & Eso, OO (2014). Fortschritte in der Hartmetallverarbeitung. In VK Sarin (Hrsg.), *Comprehensive Hard Materials (Band 1, S. 167–190)*. Elsevier.
- Fang, ZG, & Eso, OO (2014). Fortschritte in der Hartmetallbearbeitung. In VK Salin (Hrsg.), *Comprehensive Hard Materials (Band 1, S. 167–190)*. Elsevier Verlag.
- Liu, X., & Zhang, Y. (2022). Bruchmechanik von Hartmetallen unter dynamischer Belastung. *Technische Bruchmechanik* , 259, 108123.
- Liu, X., & Zhang, Y. (2022). Bruchmechanik von Hartmetall unter dynamischer Belastung. *Journal of Engineering Fracture Mechanics*, 259, 108123.
- Wu, J., & Chen, H. (2023). Elektrochemische Korrosion von Hartmetallen in aggressiven Umgebungen. *Electrochimica Acta* , 441, 141789.
- Wu, J., & Chen , H. (2023). Elektrochemische Korrosion von Hartmetall in rauen Umgebungen. *Journal of*

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

Electrochimica Sinica, 441, 141789.

Kim, S., & Lee, J. (2021). Thermoschockbeständigkeit von Hartmetallen für Schneidwerkzeuge. Ceramics International, 47(12), 1678916796.

Park, C., & Kang, S. (2020). Magnetische und elektrische Eigenschaften von Ni-gebundenen Hartmetallen. Journal of Materials Science, 55(14), 62346245.

China Tungsten Online. (2023). Eigenschaften und Anwendungen von Hartmetall. China Tungsten Online.

<http://news.chinatungsten.com/cn/tungstencarbideinformation>

Zhu Liqun, & Li Weiping. (2018). Fortschritte in der Hartmetall-Fertigungstechnologie. Materials Review, 32(10), 16531660.

Li, ZQ, & Wang, ZY (2021). Forschungsfortschritt im Bereich der Hartmetall-Recyclingtechnologie. Seltene Metallmaterialien und -technik, 50(8), 29712978.

Liu, W., & Zhang, H. (2020). Studie zum Oxidationsverhalten von Hartmetall bei hohen Temperaturen. Chinese Journal of Materials Science and Engineering, 38(4), 512518.

Wang Tao, & Chen Ming. (2019). Forschungsfortschritte zur Sinterkinetik von Hartmetall. Powder Metallurgy Technology, 37(5), 321329.

Li Ming, & Zhao Gang. (2022). Fortschritte in der Prüftechnologie für mechanische Eigenschaften von Hartmetall. Materials Science and Technology, 30(6), 789796.

Zhou, P., & Liu, Y. (2021). Forschungsfortschritt zu den thermischen Eigenschaften von Hartmetall. Chinese Journal of Materials Progress, 40(3), 234241.

Sun Qiang, & Wang Lei. (2020). Bewertungsmethode zur chemischen Stabilität von Hartmetall. Journal of Materials Protection, 53(8), 123130.

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

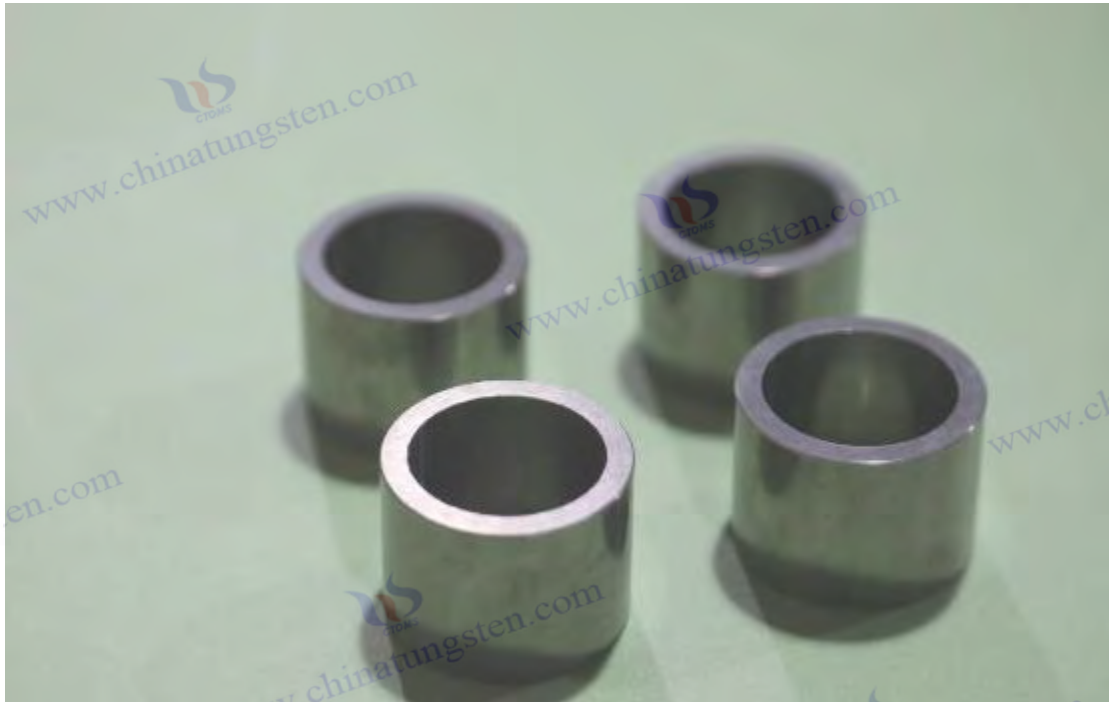
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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 :

Hartmetall-Kobalt-Magnete: Definition und Prüfverfahren

1. Einleitung

Hartmetall (z. B. Wolframkarbid-Kobalt-Legierung, WC-Co) nimmt aufgrund seiner hervorragenden Härte (Vickershärte HV 1200–2400), Verschleißfestigkeit (Verschleißrate $< 0,1 \text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$) und Zähigkeit (Bruchzähigkeit KIC $8 - 20 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) eine wichtige Stellung im industriellen Bereich ein und wird häufig in Schneidwerkzeugen, Bohrern, Formen, Bergbauwerkzeugen und mehr verwendet. Kobalt (Co) als Bindephase in Hartmetall verbessert durch seine plastische Verformbarkeit nicht nur die Schlagfestigkeit und Bruchzähigkeit des Materials, sondern verleiht Hartmetall aufgrund seines einzigartigen Ferromagnetismus auch eine quantifizierbare magnetische Eigenschaft namens „Kobaltmagnetismus“. Kobaltmagnetismus ermöglicht die zerstörungsfreie Bewertung von Kobaltgehalt, Kohlenstoffgleichgewicht, mikrostruktureller Integrität und Prozessqualität durch die Messung von Parametern wie magnetischer Sättigungsintensität (M_s) und Koerzitivkraft (H_c) und ist eine unverzichtbare Methode zur Qualitätskontrolle in der Hartmetallproduktion. Dieser Artikel erläutert systematisch die Definition und Prüfmethode von Kobaltmagneten sowie deren weitreichende Bedeutung für die Leistungsfähigkeit und Produktionsoptimierung von Hartmetall. Gleichzeitig werden Methoden zur Verbesserung der Prüfung und Anwendung von Kobaltmagneten untersucht, um die Leistung und Zuverlässigkeit von Hartmetall weiter zu steigern.

2. Definition des Kobaltmagnetismus in Hartmetall

2.1 Bedeutung und physikalische Grundlagen des Kobaltmagnetismus

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

Bei Hartmetall bezieht sich der Kobaltmagnetismus auf die magnetischen Eigenschaften der Kobaltbindephase, die hauptsächlich durch zwei Schlüsselparameter charakterisiert werden: magnetische Sättigungsintensität (M_s) und Koerzitivkraft (H_c). Die magnetische Sättigungsintensität (M_s) bezieht sich auf die Magnetisierungsintensität, wenn die Kobaltphase unter Einwirkung eines starken Magnetfelds ($> 1,5 \text{ T}$) die volle Magnetisierung erreicht, und die Einheit ist $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ (magnetisches Moment pro Kilogramm Material). Der M_s -Wert ist proportional zum Kobaltgehalt und zur Reinheit. Die magnetische Sättigungsintensität von reinem Kobalt beträgt $16,1\text{--}16,3 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$. Deshalb kann der M_s -Wert von Hartmetall linear über den Kobaltgehalt geschätzt werden. Beispielsweise beträgt die theoretische M_s einer Legierung mit 10 % Kobalt etwa $1,61\text{--}1,63 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$. Die Koerzitivkraft (H_c) bezeichnet die Intensität des umgekehrten Magnetfelds, die erforderlich ist, um die Magnetisierungsintensität der Kobaltphase vom Sättigungszustand auf Null zu reduzieren. Die Einheit ist kA/m (Kiloampere/Meter). H_c hängt eng mit der Korngröße und der mikrostrukturellen Verteilung der Kobaltphase zusammen. Feine Körner ($0,2\text{--}0,5 \mu\text{m}$) weisen üblicherweise eine hohe Koerzitivkraft ($> 25 \text{ kA/m}$) auf, während grobe Körner ($> 5 \mu\text{m}$) eine geringere Koerzitivkraft ($< 10 \text{ kA/m}$) aufweisen.

Der Magnetismus von Hartmetall beruht fast ausschließlich auf der Kobaltbindephase, da die Hartphase (z. B. WC) ein nicht magnetisches Material ist. Die hohe Magnetisierungsintensität von Kobalt ($1,7\text{--}1,75 \mu\text{B/Atom}$) und die hohe Curietemperatur (ca. 1145°C) machen es zu einem idealen Indikator für magnetische Messungen. Der Kobaltgehalt liegt üblicherweise zwischen 5–15 Gewichtsprozent. Seine magnetischen Eigenschaften spiegeln nicht nur die Verteilung und den Zustand der Kobaltphase wider, sondern charakterisieren auch indirekt die Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung und die mikrostrukturelle Integrität des Hartmetalls und bieten somit ein zuverlässiges Mittel für zerstörungsfreie Prüfungen.

2.2 Die Bedeutung von Kobaltmagneten für Hartmetall

Die magnetische Kobaltprüfung hat in vielen Bereichen der Hartmetallproduktion und -anwendung weitreichende Bedeutung. Sie ist nicht nur ein zentrales Instrument der Qualitätskontrolle, sondern bietet auch eine wichtige Grundlage für Prozessoptimierung und Leistungsprognosen.

Zunächst kann durch den Kobaltmagnettest genau überprüft werden, ob der Kobaltgehalt die Anforderungen der Formel erfüllt. Die magnetische Sättigungsintensität (M_s) steht in linearem Verhältnis zum Kobaltgehalt. Beispielsweise beträgt die theoretische M_s der Legierung YG6 (6 % Kobalt) $0,97 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ und die der Legierung YG8 (8 % Kobalt) $1,29 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$. Wenn die gemessene M_s -Abweichung $\pm 0,5\%$ überschreitet, kann ein zu niedriger oder zu hoher Kobaltgehalt vorliegen, was sich direkt auf die Härte-Zähigkeits-Balance von Hartmetall auswirkt. Ein zu niedriger Kobaltgehalt führt zu einer unzureichenden Bindungsphase, einer verringerten Zähigkeit der Legierung (KIC kann von $12 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ auf $8 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ sinken) und einem erhöhten Risiko von Werkzeugabsplitterungen. Ein zu hoher Kobaltgehalt verringert die Härte (HRA sinkt von 91 auf 89) und beeinträchtigt die Verschleißfestigkeit. Durch magnetische Kobalttests kann das

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mengenverhältnis schnell angepasst werden, um sicherzustellen, dass der Kobaltgehalt genau im Zielbereich liegt.

Zweitens ist die magnetische Prüfung von Kobalt ein wirksames Mittel zur Bewertung des Kohlenstoffgleichgewichts. Ein Ungleichgewicht im Kohlenstoffgehalt von Hartmetall führt zur Bildung der η -Phase ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) oder von freiem Kohlenstoff (C), und diese Defekte wirken sich erheblich negativ auf die Leistung aus. Die η -Phase ist eine spröde Phase, die Ms um 10 – 20 % reduziert und die Zähigkeit verringert (KIC nimmt um 15 – 20 % ab), wodurch das Werkzeug unter Bedingungen hoher Stoßbelastung (wie beim Bohren im Bergbau, Frequenz > 2000 Mal/Minute) leicht bricht. Freier Kohlenstoff verringert Ms um 5 – 10 % und verringert die Härte (HV nimmt um 50 – 80 ab), was die Verschleißfestigkeit beeinträchtigt (die Verschleißrate steigt von 0,05 auf 0,07 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$). Liegt der Ms-Wert bei einer Kobalt-Magnetprüfung unter 90 % des erwarteten Wertes (z. B. YG8-Messwert < 1,16 $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$), kann eine η -Phase vorliegen; liegt er über 110 % (> 1,42 $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$), kann freier Kohlenstoff vorliegen. In diesem Fall kann eine Röntgenbeugung (XRD) eingesetzt werden, um den Defekttyp weiter zu bestätigen und ihn durch Anpassung des Kohlenstoffgehalts (Ziel $6,0 \pm 0,2$ Gew.-%) oder Optimierung des Sinterprozesses (Erhöhung der Temperatur auf 1350–1450 °C) zu beheben.

Darüber hinaus kann der Kobalt-Magnettest auch die Eigenschaften der Mikrostruktur und die Prozessqualität widerspiegeln. Die Koerzitivkraft (H_c) ist umgekehrt proportional zur Korngröße der Kobaltphase. Feinkörniges Hartmetall (Körner 0,2–0,5 μm) hat üblicherweise einen H_c -Wert von 25–40 kA/m, was für Werkzeuge mit hoher Härte geeignet ist (z. B. PCB-Bohrer, HRA > 92); grobkörniges Hartmetall (Körner > 5 μm) hat einen H_c -Wert von 5–10 kA/m, was für Anwendungen mit hoher Zähigkeit geeignet ist (z. B. Bergbaubohrer, KIC > 15 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$). Abnormale H_c -Schwankungen (> 10 %) können auf ungleichmäßiges Sintern oder abnormales Kornwachstum hinweisen und die Sintertemperatur (geregelt auf 1350–1450 °C) oder die Haltezeit (1–2 Stunden) muss angepasst werden. Durch magnetische Kobalttests kann das Mikrostrukturdesign optimiert werden, um das beste Gleichgewicht zwischen Härte und Zähigkeit zu gewährleisten.

Noch wichtiger ist, dass Kobalt-Magnettests eine direkte Grundlage für Leistungsprognosen und Prozessverbesserungen bieten. Hohe Ms- und H_c -Werte stehen üblicherweise für hohe Härte und Verschleißfestigkeit, die für Hochgeschwindigkeits-Schneidwerkzeuge geeignet sind; niedrige H_c -Werte stehen für hohe Zähigkeit und Schlagfestigkeit, die für Bergbauwerkzeuge geeignet sind. Beispielsweise kann beim Schneiden von Titanlegierungen für die Luftfahrt (Schnittgeschwindigkeit 200 m/min) ein Werkzeug mit 10 % Kobalt den Kobalt-Magnettest ($M_s = 1,61 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, $H_c = 18 \text{ kA/m}$) bestehen und so eine Härte HRA 90 und Schlagfestigkeit gewährleisten. Die Standzeit beträgt 3–4 Stunden und ist damit besser als bei ungeprüften Werkzeugen (Standzeit < 2 Stunden). Darüber hinaus können magnetische Kobalttests auch zur Optimierung des Sinterprozesses beitragen, um ein Überbrennen (Temperatur > 1500 °C, grobe Körner, H_c -Abnahme) oder Unterbrennen (Temperatur < 1300 °C, η -Phasenbildung, M_s -Abnahme) zu vermeiden und so die Produktionskonsistenz und Produktzuverlässigkeit zu verbessern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Magnetische Kobalt-Testmethode

Die Kobaltmagnetprüfung bewertet die Leistung von Hartmetall durch Messung der magnetischen Sättigungsintensität (M_s) und der Koerzitivfeldstärke (H_c). Es handelt sich um ein zerstörungsfreies Prüfverfahren, das einfach anzuwenden ist und zuverlässige Ergebnisse liefert. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Beschreibung des Prüfprinzips, der Ausrüstung, der Schritte, der Normen und der Vorsichtsmaßnahmen.

3.1 Prüfprinzipien und technische Grundlagen

Bei der magnetischen Prüfung von Kobalt werden die ferromagnetischen Eigenschaften von Kobalt ausgenutzt und sein Zustand durch die magnetische Sättigungsintensität und die Koerzitivfeldstärke quantifiziert. Die Messung der magnetischen Sättigungsintensität (M_s) basiert auf der vollständigen Magnetisierung der Kobaltphase in einem starken Magnetfeld ($> 1,5 \text{ T}$). Ihr Wert ist proportional zum Kobaltgehalt und wird wie folgt berechnet: $M_{s_Legierung} = M_{s_reines\ Kobalt} \times \text{Kobalt-Gewichtsanteil}$, wobei der M_s von reinem Kobalt $16,1\text{--}16,3 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ beträgt. Beispielsweise beträgt der theoretische M_s einer Legierung mit 8 % Kobalt $1,29\text{--}1,30 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$. Falls der gemessene Wert abweicht, muss die Zusammensetzung oder die Fehlerursache analysiert werden. Die Koerzitivfeldstärke (H_c) misst die Intensität, bei der das umgekehrte Magnetfeld die Magnetisierungsintensität auf Null reduziert, was umgekehrt proportional zur Kobaltkorngröße ist. Der H_c -Wert feinkörniger Legierungen ($0,2 \mu\text{m}$) kann $30\text{--}40 \text{ kA/m}$ erreichen, während der H_c -Wert grobkörniger Legierungen ($5 \mu\text{m}$) auf $5\text{--}10 \text{ kA/m}$ sinkt. Defekte wie die η -Phase oder freier Kohlenstoff können den M_s -Wert erheblich beeinflussen. Die η -Phase reduziert den M_s -Wert um $10\text{--}20 \%$, freier Kohlenstoff um $5\text{--}10 \%$. Diese Veränderungen können zur schnellen Behebung von Materialproblemen genutzt werden.

3.2 Prüfgeräte und deren Leistung

Für die magnetische Prüfung von Kobalt wird professionelles Equipment benötigt, um Messgenauigkeit und Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Zu den gängigen Geräten gehören Magnetanalysatoren (wie der Koerzimat 1.097 oder der Sigmameter 2.068), die M_s und H_c gleichzeitig mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5 \%$ messen können und sich für die werksseitige Chargenprüfung eignen. Das Vibrationsprobenmagnetometer (VSM) bietet eine höhere Genauigkeit ($\pm 0,1 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$), kann die komplette Hystereseschleife messen und eignet sich für die Laborforschung mikroskopischer magnetischer Eigenschaften. Das Permanentmagnet-Koerzitivfeldmessgerät eignet sich für die schnelle H_c -Messung (Genauigkeit $\pm 1 \text{ kA/m}$), ist einfach zu bedienen und wird häufig für Prüfungen vor Ort eingesetzt. Das Gerät zur elektromagnetischen Sättigung stellt durch Anlegen eines starken Magnetfelds von $1,5\text{--}2 \text{ T}$ die vollständige Sättigung der Kobaltphase mit einem Messfehler von $< 1 \%$ sicher und ist das zentrale Werkzeug für die M_s -Prüfung.

3.3 Testschritte und Arbeitsablauf

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Um genaue und wiederholbare Ergebnisse zu gewährleisten, müssen magnetische Kobalttests nach standardisierten Verfahren durchgeführt werden.

Probenvorbereitung

Wählen Sie eine Hartmetallprobe (z. B. einen Werkzeugrohling, Größe 5–10 mm, zylindrisch oder kubisch) aus, reinigen Sie die Oberfläche und entfernen Sie Öl- und Oxidschichten (kann mit Ethanol abgewischt werden), um Störungen der Magnetmessung zu vermeiden. Wiegen Sie die Probenmasse genau ($\pm 0,01$ g), um die Magnetisierungsintensität pro Masseneinheit zu berechnen.

Magnetischer Sättigungstest

Platzieren Sie die Probe in einem starken Magnetfeld (1,5–2 T) eines Magnetanalysators, um die Kobaltphase vollständig zu magnetisieren und M_s ($\mu Tm^3 / kg$) zu erfassen. Berechnen Sie den Kobaltgehalt mit der Formel $M_s \div 16,1$ und vergleichen Sie ihn mit dem Sollwert. Eine Abweichung von $\geq \pm 0,5$ % weist auf abnormale oder fehlerhafte Inhaltsstoffe hin.

Koerzitivfeldstärkentest

Verwenden Sie ein Koerzitivfeldmessgerät, um ein umgekehrtes Magnetfeld anzulegen und H_c (kA/m) zu messen, wodurch die Magnetisierung auf Null reduziert wird. Bestimmen Sie die Korngröße anhand des H_c -Werts: > 20 kA/m ist eine feinkörnige Struktur, geeignet für Werkzeuge mit hoher Härte; < 10 kA/m ist eine grobkörnige Struktur, geeignet für Formen mit hoher Zähigkeit.

Datenanalyse

Analysieren Sie die M_s - und H_c -Ergebnisse. Ist M_s zu niedrig (< 90 % des erwarteten Wertes), liegt möglicherweise ein Kobalt- oder η -Phasenmangel vor. Ist M_s zu hoch (> 110 %), liegt möglicherweise freier Kohlenstoff vor. Abnorme H_c -Schwankungen (> 10 %) deuten auf eine ungleichmäßige Sinterung hin. Bei Bedarf kann eine weitere Überprüfung durch eine Kombination aus metallografischem Mikroskop (200-fache Vergrößerung) oder XRD (Nachweis der η -Phase $2\theta \approx 40^\circ$, freiem Kohlenstoff $2\theta \approx 26^\circ$) erfolgen.

Ergebniserfassung und -verarbeitung: M_s , H_c und Probennummer erfassen und in der Qualitätsdatenbank speichern. Abnormale Ergebnisse erfordern eine Anpassung der Rezeptur (z. B. Zugabe von 0,1–0,2 % Kohlenstoff) oder eine Optimierung des Sinterprozesses (Anpassung der Temperatur um ± 10 °C und Verlängerung der Haltezeit auf 1,5 Stunden).

3.4 Prüfnormen und Spezifikationen

Magnetische Kobaltprüfungen müssen internationalen und nationalen Standards entsprechen, um die Zuverlässigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. ISO 3326:2013 spezifiziert das Verfahren zur Bestimmung der magnetischen Sättigung von Kobalthartmetall und definiert klar die Gerätekalibrierung (unter Verwendung von reinen Kobaltstandards), die Probengröße (5–10 mm) und die Genauigkeitsanforderungen ($\pm 0,5$ %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ASTM B886 ist ein allgemeiner Standard zur Prüfung der magnetischen Eigenschaften von Hartmetall. Er umfasst Ms- und Hc-Messungen und legt Wert auf die Kontrolle der Prüfumgebung (20–25 °C, keine magnetischen Störungen). Der chinesische nationale Standard GB/T 3849 fordert zudem eine Wiederholbarkeit der Prüfung (Abweichung < 2 %) und einen Gerätekalibrierungszyklus (einmal monatlich), um eine konsistente Produktion zu gewährleisten.

3.5 Vorsichtsmaßnahmen und Fehlerkontrolle

Um die Genauigkeit des Tests zu gewährleisten, sind folgende Punkte zu beachten: Das Gerät muss regelmäßig mit reinem Kobalt ($M_s = 16,2 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, $H_c = 5 \text{ kA/m}$) oder Standardproben kalibriert werden. Der Fehler muss innerhalb von $\pm 1 \%$ liegen. Die Probe muss gleichmäßig, frei von Rissen ($< 5 \mu\text{m}$) und Poren ($< 0,05 \%$) sein und die Zusammensetzungsabweichung darf $< 0,1 \text{ Gew.}\%$ nicht überschreiten, da es sonst zu Messabweichungen kommen kann. Die Testumgebung sollte frei von starken Magnetfeldstörungen ($< 0,1 \text{ mT}$) sein, die Temperatur sollte bei 20–25 °C und die Luftfeuchtigkeit $< 60 \%$ liegen. Wenn das Ergebnis abnormal ist (M_s -Abweichung $> 5 \%$, Hc-Schwankung $> 10 \%$), ist es notwendig, eine chemische Analyse (wie z. B. ICP-Messung des Kobaltgehalts, Genauigkeit $\pm 0,05 \text{ Gew.}\%$) oder eine Rasterelektronenmikroskopie (SEM) zu kombinieren, um mikroskopische Defekte (wie z. B. Poren, η -Phasenverteilung) zur umfassenden Überprüfung zu beobachten.

4. Optimierungs- und Verbesserungsmethoden für magnetische Kobalttests

Um die Genauigkeit und den Anwendungswert magnetischer Kobaltprüfungen weiter zu verbessern, können Verbesserungen in drei Bereichen vorgenommen werden: Geräteverbesserung, Prozessoptimierung und Datenanalyse. Die spezifischen Methoden sind wie folgt.

Zur Verbesserung der Geräte ist der Einsatz hochpräziser Prüfgeräte der Schlüssel zur Verbesserung der Kobalt-Magnetprüfergebnisse. Die zunehmende Verbreitung von nanoskaligem Hartmetall (Korngröße 0,05–0,2 μm), dessen hohe Koerzitivfeldstärke ($H_c > 50 \text{ kA/m}$) und komplexe Mikrostruktur stellen höhere Anforderungen an die Prüfgenauigkeit. Die Genauigkeit ($\pm 0,5 \%$) herkömmlicher Magnetanalysatoren (wie z. B. Koerzimat) kann diesen Anforderungen nicht mehr gerecht werden. Es wird die Einführung eines hochpräzisen Vibrationsmagnetometers (VSM, Genauigkeit $\pm 0,1 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) empfohlen, das die Hystereseschleife und mikroskopische magnetische Veränderungen genauer messen kann. Darüber hinaus ermöglicht die Entwicklung von Hochtemperatur-Kobalt-Magnetprüfgeräten (für Tests bei 800–1000 °C) die Bewertung der Dämpfungseigenschaften des Kobaltmagnetismus unter Hochtemperaturbedingungen (M_s -Abnahme um 5–10 %) und unterstützt so die Leistungsvorhersage für Hochtemperaturwerkzeuge (z. B. Werkzeuge zur Bearbeitung von Flugzeugtriebwerken). Beispielsweise sank der M_s -Wert von Hartmetall mit 10 % Kobalt bei 1000 °C von 1,61 auf 1,45 $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, was auf Hochtemperaturoxidation oder Kobaltverflüchtigung hindeutet. Die Beschichtung (z. B. TiAlN, Dicke 2–3 μm) muss optimiert werden, um die Hitzebeständigkeit zu verbessern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Im Hinblick auf die Prozessoptimierung können Defekte wie die η -Phase und freier Kohlenstoff durch Verbesserung des Sinterprozesses und der Formelgestaltung reduziert und so die Stabilität der Ergebnisse der Kobaltnagnetprüfung verbessert werden. Die Sintertemperatur sollte streng bei 1350–1450 °C kontrolliert werden. Eine zu hohe Temperatur (> 1500 °C) führt zu groben Körnern (H_c sinkt von 20 kA/m auf 8 kA/m), eine zu niedrige Temperatur (< 1300 °C) führt leicht zur Bildung der η -Phase (M_s sinkt auf < 90 % des erwarteten Werts). Das heißisostatische Pressverfahren (HIP, 150–200 MPa, 1350 °C) kann die Porosität wirksam reduzieren (von 0,1 % auf 0,05 %), den M_s -Wert verbessern (Anstieg um 3–5 %) und die H_c -Stabilität (Schwankung < 5 %). Darüber hinaus kann durch Zugabe von Spurenkorninhibitoren (wie VC 0,2–0,5 Gew.-% oder Cr_3C_2 0,3–0,8 Gew.-%) die Korngröße der Kobaltphase (0,5–1 μm) kontrolliert, H_c erhöht (von 15 kA/m auf 20–25 kA/m) und die Bildung der η -Phase verringert werden (M_s wird auf 98 % des erwarteten Werts wiederhergestellt). Hinsichtlich der Formulierungsgestaltung können durch Optimierung des Kohlenstoffgehalts ($6,0 \pm 0,2$ Gew.-%) und des Kobaltgehalts (6–10 Gew.-%) freier Kohlenstoff und die η -Phase vermieden und die M_s -Abweichung auf $\pm 0,3$ % begrenzt werden. Beispielsweise stabilisiert sich M_s nach der HIP- und VC-Zugabe von Hartmetall mit 8 % Kobalt bei 1,28–1,30 $\mu Tm^3/kg$ und die Werkzeuglebensdauer erhöht sich um 20 % (von 3 Stunden auf 3,6 Stunden).

In Bezug auf die Datenanalyse kann die Einführung intelligenter Analysetechnologie die Effizienz und Genauigkeit von Kobaltnagnetprüfungen deutlich verbessern. Im Jahr 2025 werden künstliche Intelligenz (KI) und maschinelles Lernen (ML) in großem Umfang in der Kobaltnagnetdatenanalyse eingesetzt. Durch den Aufbau einer M_s - H_c -Leistungsdatenbank kann KI Defektarten und Leistungseinbußen vorhersagen. Wenn beispielsweise $M_s < 1,16 \mu Tm^3/kg$ (YG8-Standard 1,29 $\mu Tm^3/kg$) ist, kann KI automatisch auf die Möglichkeit einer η -Phase hinweisen (Wahrscheinlichkeit > 80 %) und eine Anpassung des Kohlenstoffgehalts (+0,1–0,2 Gew. %) oder ein erneutes Brennen (1350 °C, 1,5 Stunden) empfehlen. Außerdem kann das Echtzeit-Überwachungssystem (kombiniert mit Infrarotspektroskopie zur Überwachung der Sinteratmosphäre) die Sinterparameter dynamisch anpassen, um die Konsistenz von M_s und H_c (Abweichung < 2 %) sicherzustellen. Intelligente Analyse unterstützt auch die Leistungsvorhersage unter verschiedenen Bedingungen. Beispielsweise verbessert sich in einer heißen und feuchten Umgebung (40 °C, 90 % Luftfeuchtigkeit) die M_s -Stabilität von Ni-Co-Legierungen (Ni 5–10 %) um 5–10 %, was für Anwendungen im Schiffsbau geeignet ist (Lebensdauer > 3 Jahre).

Die tatsächliche Wirkung der umfassenden Verbesserungsmethode ist bemerkenswert. Beispielsweise optimierte ein Werkzeughersteller den Kobaltnagnettest (VSM+AI-Analyse), um die M_s -Abweichung auf $\pm 0,2$ %, die H_c -Schwankung < 3 % und das η -Phasenverhältnis auf < 1 % zu kontrollieren. Dadurch erhöhten sich die Werkzeughärte (HRA 91-92) und die Lebensdauer (Schneiden von Titanlegierungen, 200 m/min) um 25 % (von 3 Stunden auf 3,75 Stunden). Ähnliche Verbesserungen bei Bergbaubohrern (Schlagfrequenz > 2000 Mal/Minute) verlängerten die Lebensdauer um 30 % (von 200 Stunden auf 260 Stunden), was den Anwendungswert der Optimierung des Kobaltnagnettests voll bestätigt.

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

5. Anwendungsszenarien der Kobalt-Magnetprüfung

Magnetische Kobalttests haben einen großen praktischen Wert bei der Herstellung und Anwendung von Hartmetall.

Qualitätskontrolle

Durch die Überprüfung des Kobaltgehalts und der Kohlenstoffbilanz können wir sicherstellen, dass die Hartmetallleistung den Standards entspricht. Beispielsweise hat YG6 (6 % Kobalt, $M_s = 0,97 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, $H_c = 15\text{--}20 \text{ kA/m}$) eine Werkzeughärte von HRA 90–91 und eine Zähigkeit von KIC 10–12 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ und ist damit für allgemeine Schneidarbeiten geeignet.

Prozessoptimierung

Passen Sie den Sinterprozess an, um grobe Körner ($H_c < 8 \text{ kA/m}$) oder die Bildung einer η -Phase ($M_s < 0,9 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) zu vermeiden und die Produktkonsistenz zu verbessern.

Fehlererkennung

Identifizieren Sie die η -Phase oder den freien Kohlenstoff, um Anpassungen der Formulierung vorzunehmen (z. B. durch Hinzufügen von 0,1–0,2 % Kohlenstoff), um den Zähigkeitsverlust (KIC nimmt um 15 %) oder den Härteverlust (HV nimmt um 50–80 ab) zu verringern.

Leistungsvorhersage

Hoher H_c ($> 25 \text{ kA/m}$) eignet sich für Werkzeuge mit hoher Härte (wie PCB-Bohrer, Lebensdauer > 4 Stunden); niedriger H_c ($< 10 \text{ kA/m}$) eignet sich für Formen mit hoher Zähigkeit (wie Bergbau-Bohrer, Lebensdauer > 200 Stunden).

Beispiele

Beim Schneiden einer Titanlegierung für die Luftfahrt (200 m/min) hat das Werkzeug mit 10 % Kobalt den Kobaltmagnettest ($M_s = 1,61 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, $H_c = 18 \text{ kA/m}$) bestanden, um Härte und Schlagfestigkeit sicherzustellen, und die Lebensdauer erreichte 3–4 Stunden, was besser ist als bei dem ungetesteten Werkzeug (Lebensdauer < 2 Stunden).

6. Datenunterstützung und neueste Fortschritte

Magnetischer Leistungsbenchmark:

Reines Kobalt: $M_s = 16,1\text{--}16,3 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, $H_c = 5\text{--}6 \text{ kA/m}$, Curietemperatur 1145°C .

YG6 (6 % Kobalt): $M_s = 0,97 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, $H_c = 15\text{--}20 \text{ kA/m}$.

YG8 (8 % Kobalt): $M_s = 1,29 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, $H_c = 10\text{--}15 \text{ kA/m}$.

Nanoskalige Legierungen ($0,05\text{--}0,2 \mu\text{m}$): $H_c = 50\text{--}60 \text{ kA/m}$, $M_s = 1,1\text{--}1,3 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ (Korngrenzeneffekt).

Auswirkungen des Defekts:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

η -Phase: Ms sinkt um 10–20 %, beispielsweise sinkt YG8 von 1,29 auf 1,0 $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$.

Freier Kohlenstoff: Ms sinkt um 5–10 %, beispielsweise sinkt YG6 von 0,97 auf 0,87 $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$.

Korngröße 1–2 μm : Hc = 10–15 kA/m, beste Härte-Zähigkeit.

Fortschritte bis 2025:

Die Produktion von Nano-Hartmetall hat sich auf 20 % der weltweiten Gesamtproduktion erhöht, und die Nachfrage nach hohem Hc (> 50 kA/m) hat die Verbreitung von VSM (Genauigkeit $\pm 0,05$ $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) gefördert. Die Ms-Stabilität von Ni-Co-Legierungen (Ni 5–10 %) in Meeresumgebungen (Salzgehalt 3,5 %, 50 MPa) hat um 5–10 % zugenommen, und der Anwendungsanteil hat 15 % erreicht. Durch KI-Analyse konnte die Defekterkennungsrate um 20 % gesteigert werden, und Ms-Anomalien lösen automatisch eine SEM-Analyse aus.

7. Fazit

Bei Hartmetall ist die magnetische Eigenschaft der Kobaltbindephase entscheidend. Sie spiegelt den Kobaltgehalt, die Kohlenstoffbilanz und die Mikrostruktur durch die magnetische Sättigungsintensität (Ms) und die Koerzitivfeldstärke (Hc) wider und ist ein zentrales Instrument zur Qualitätskontrolle und Leistungsoptimierung. Durch magnetische Kobaltprüfungen kann nicht nur die Zusammensetzung überprüft und Fehler behoben werden, sondern auch die Prozessoptimierung und Leistungsvorhersage unterstützt werden, was für die Verbesserung von Härte, Zähigkeit und Verschleißfestigkeit von Hartmetall von großer Bedeutung ist. Durch die Einführung hochpräziser Geräte (wie VSM), die Optimierung des Sinterprozesses (HIP+Korninhibitor) und intelligente Datenanalyse (KI+Echtzeitüberwachung) konnten Genauigkeit und Anwendungswert magnetischer Kobaltprüfungen deutlich verbessert werden, was eine starke technische Unterstützung für die Hochleistungsanwendung von Hartmetall bietet.

8. Referenzen

ScienceDirect (2020). Magnetische Eigenschaften von Hartmetallen . ScienceDirect (2020).

ISO 3326:2013. Bestimmung der magnetischen Sättigung von Hartmetallen. ISO 3326:2013.

ASTM B886. Standardprüfverfahren für magnetische Eigenschaften von Hartmetallen.

GB/T 3849. Magnetische Prüfverfahren für Hartmetalle (China).

ITIA (2025). Jahresbericht über nanostrukturierte Hartmetalle. ITIA (2025).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD

30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

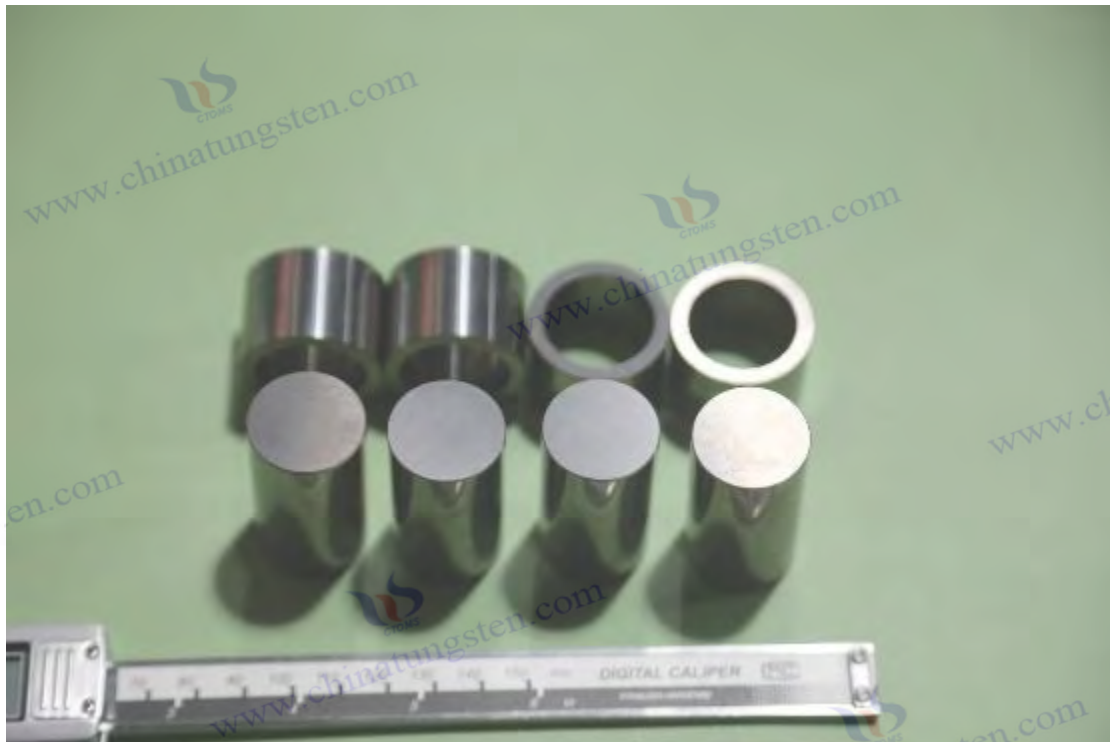
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Anhang :

ISO 3326:2013 Verfahren zur Bestimmung der magnetischen Sättigung von Kobalt in Hartmetall

ISO 3326:2013 Hartmetalle –

Bestimmung der mechanischen Sättigung von Kohlenstoff. Veröffentlicht: Juli 2013

Status: Aktuell gültig. Anwendungsbereich: Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung der magnetischen Sättigungsintensität von Kobalt (Co) in Hartmetall fest. Sie ist anwendbar auf Hartmetall mit mindestens 3 % (Massenanteil) ferromagnetischem Bindemittel (hauptsächlich Kobalt) zur Qualitätskontrolle und Zusammensetzungsanalyse.

1. Geltungsbereich

Diese Norm beschreibt ein zerstörungsfreies Verfahren zur Bestimmung der magnetischen Sättigung (M_s) von Kobalt in Hartmetallen zur Beurteilung des Kobaltgehalts, der Kohlenstoffbilanz und der Legierungsqualität.

WCCo-Legierungen) mit ferromagnetischen Bindemitteln (wie Kobalt und Nickel, mit einem Massenanteil von $\geq 3\%$), jedoch nicht geeignet für nicht-magnetische oder schwach magnetische Legierungen.

Die Testergebnisse werden verwendet, um:

Überprüfen Sie, ob der Kobaltgehalt innerhalb der Spezifikation liegt.

Erkennt Ungleichgewichte im Kohlenstoffgehalt (wie etwa Eta-Phase oder freier Kohlenstoff).

Bewertung der Qualität des Sinterprozesses (z. B. Vorhandensein nichtmagnetischer Einschlüsse).

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

2. Normative Verweisungen

Es gibt keine direkten Verweise auf andere Normen, es wird jedoch empfohlen, relevante Prüfnormen für Hartmetall zu Rate zu ziehen, wie beispielsweise:

ISO 4499 (Bestimmung der Mikrostruktur von Hartmetallen).

ISO 3738 (Methoden zur Probenahme von Hartmetallen).

Es ist für den Inhalt von ASTM B886 (Magnetischer Sättigungstest von Hartmetall) von großer Bedeutung und kann als ergänzende Referenz verwendet werden.

3. Begriffe und Definitionen

Hartmetall: Ein Verbundwerkstoff, der aus einer Hartphase (z. B. Wolframcarbid WC) und einer Bindephase (z. B. Kobalt) besteht.

Magnetische Sättigung (M_s): Die Intensität, bei der die Magnetisierung der Kobaltphase unter einem starken Magnetfeld ihren Maximalwert erreicht, mit der Einheit $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ oder $\text{kA} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$.

Ferromagnetisches Bindemittel: Kobalt, Nickel und andere Metallphasen mit Ferromagnetismus, wobei Kobalt am häufigsten vorkommt.

η -Phase (Eta-Phase): Spröde Carbide (wie $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) entstehen, wenn nicht genügend Kohlenstoff vorhanden ist, was den Magnetismus und die Zähigkeit verringert.

Freier Kohlenstoff: Nicht magnetischer Kohlenstoff, der bei Kohlenstoffüberschuss ausfällt und die Festigkeit der Legierung schwächt.

4. Grundsatz

Der Magnetismus von Hartmetall kommt von der Kobaltbindephase, und die harte Phase (wie WC) trägt nicht zum Magnetismus bei.

Unter starken Magnetfeldern (üblicherweise $> 1,5 \text{ T}$) erreicht die Kobaltphase eine magnetische Sättigung, und M_s ist proportional zum Kobaltgehalt. Die magnetische Sättigungskonstante von reinem Kobalt beträgt $16,116,3 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ (ScienceDirect, 2020).

Die M_s -Messung kann:

Berechnen Sie den Kobaltgehalt: $M_s \div 16,1 \mu\text{Tm}^3/\text{kg} \approx \text{Kobalt-Massenanteil}$.

Erkennung nichtmagnetischer Verunreinigungen: η -Phase oder Oxide reduzieren M_s (1020 %), freier Kohlenstoff reduziert M_s (510 %).

Der Test ist zerstörungsfrei und unabhängig von Probenform und -größe (innerhalb gewisser Grenzen).

5. Geräte

Magnetanalysator: wie Koerzimat MS oder Sigmameter, ausgestattet mit einem starken Magnetfeldgenerator (1,52 T) und einem Magnetflusserkennungssystem.

Kalibrierstandardprobe: reine Kobalt- oder Hartmetallprobe mit bekanntem Kobaltgehalt, M_s -Wert auf SI-Einheit rückführbar.

Präzisionswaage: Genauigkeit $\pm 0,01 \text{ g}$, dient zum Wiegen der Probenmasse.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Gerät mit konstanter Temperatur: Die Temperatur der Testumgebung wird auf 2025 °C geregelt, um thermische Effekte zu vermeiden.

Entmagnetisierungsgerät (optional): Stellt sicher, dass die Probe keine Restmagnetisierung aufweist.

6. Prüfling

Form und Größe: Die Probe kann jede beliebige Form haben (z. B. Zylinder, Würfel, Werkzeugrohling), die Größe beträgt üblicherweise 510 mm und die Masse 0,550 g.

Oberflächenanforderungen: sauber, frei von Öl, Oxidschicht oder mechanischen Beschädigungen.

Homogenität: Die innere Zusammensetzung der Probe ist einheitlich und weist keine offensichtlichen Risse oder Poren auf.

Menge: Mindestens 3 Proben pro Charge, repräsentative Probenahme nach ISO 3738.

7. Prüfschritte (Vorgehensweise)

Gerätekalibrierung:

unter Verwendung von reinen Kobaltstandards ($M_s = 16,1 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) oder zertifizierten Carbidproben.

Der Kalibrierungsfehler wird auf $\pm 1 \%$ begrenzt und die Kalibrierungsdaten werden aufgezeichnet.

Probenvorbereitung:

Reinigen Sie die Probenoberfläche, um Öl, Schmutz und Oxide zu entfernen.

Wiegen Sie die Probenmasse (m, Einheit: g) mit einer Präzisionswaage mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01 \text{ g}$.

Wenn die Probe eine Restmagnetisierung aufweist, verwenden Sie ein Entmagnetisierungsgerät.

Magnetische Sättigungsmessung:

Platzieren Sie die Probe in einem starken Magnetfeld (1,52 T) eines Magnetanalysators, um sicherzustellen, dass die Kobaltphase vollständig magnetisiert ist.

Messen Sie den magnetischen Fluss und zeichnen Sie die magnetische Sättigungsintensität (M_s , in $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) auf.

Die Messung wurde dreimal wiederholt und der Durchschnittswert ermittelt. Die Abweichung einer Einzelmessung betrug $< \pm 0,5 \%$.

Datensätze:

Notieren Sie die Probennummer, Masse, den M_s -Wert und die Testbedingungen (Temperatur, magnetische Feldstärke).

Wenn M_s abnormal ist, überprüfen Sie die Probe oder das Gerät und führen Sie den Test bei Bedarf erneut durch.

8. Berechnung und Ergebnisdarstellung

Kobaltgehalt:

$$\text{钴质量分数 (\%)} = \frac{M_s}{M_{s(\text{Co})}} \times 100$$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Unter ihnen ist M_s der gemessene Wert, M_s reines Kobalt beträgt $16,1 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$. Beispielsweise beträgt $M_s = 1,61 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, der Kobaltgehalt $\approx 10\%$.

Relative magnetische Sättigung (S):

$$S = \frac{M_{s\text{测试}}}{M_{s\text{理论}}}$$

M_s -Theorie ist der magnetische Sättigungswert (basierend auf dem Kobaltgehalt) einer hypothetischen Bindephase aus reinem Kobalt. $S < 0,9$ weist auf eine η -Phase hin, und $S > 1,1$ weist auf freien Kohlenstoff hin.

Präzision: Das Ergebnis bleibt auf 3 Nachkommastellen (z.B. $1,610 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) und der Kobaltgehalt auf 1 Nachkommastelle (z.B. $10,0\%$) erhalten.

9. Analyse der Testergebnisse

Normalbereich: Der magnetische Sättigungswert von Kobalt beträgt nach dem Sintern normalerweise 85–95 % des theoretischen Werts (da sich ein Teil des Kobalts in WC auflöst oder eine nichtmagnetische Phase bildet).

Ungewöhnliche Situation:

M_s ist niedrig ($< 90\%$): Es kann eine η -Phase ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$), Oxid oder ein unzureichender Kobaltgehalt vorliegen.

M_s ist zu hoch ($> 110\%$): Möglicherweise liegt ein zu hoher Gehalt an freiem Kohlenstoff oder Kobalt vor.

Ergänzende Überprüfung: Abnormale Ergebnisse müssen mit einer metallografischen Analyse (Mikroskopbeobachtung der η -Phase, freier Kohlenstoff) oder einer chemischen Analyse (ICP-Messung des Kobaltgehalts) kombiniert werden.

10. Prüfbericht

Der Bericht sollte Folgendes enthalten:

Standardreferenz: ISO 3326:2013.

Probeninformationen: Anzahl, Form, Qualität, Charge.

Testbedingungen: Gerätemodell, magnetische Feldstärke (T), Umgebungstemperatur ($^{\circ}\text{C}$).

Ergebnisse: M_s -Wert ($\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$), berechneter Kobaltgehalt (%), relative magnetische Sättigung (S).

Kalibrierungsinformationen: M_s -Wert der Standardprobe, Kalibrierungsdatum.

Ausnahmebeschreibung: Wenn eine Abweichung vorliegt, beschreiben Sie die mögliche Ursache (z. B. η -Phase).

Prüfer: Name, Datum, Unterschrift.

Laborinformationen: Name, Adresse, Zertifizierungsqualifikationen.

11. Vorsichtsmaßnahmen

Gerätekalibrierung: Regelmäßige Kalibrierung, Fehler $\leq \pm 1\%$, unter Verwendung rückverfolgbarer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Standardproben.

Gleichmäßigkeit der Probe: Vermeiden Sie Risse, Poren oder ungleichmäßige Zusammensetzung, die die MS-Genauigkeit beeinträchtigen.

Umgebungskontrolle: Die Testumgebung weist keine starken Magnetfeldstörungen auf und die Temperatur beträgt 2025 °C.

Sicherheit: Halten Sie die Betriebsverfahren der Geräte ein, um die Auswirkungen starker Magnetfelder auf Personal oder elektronische Geräte zu vermeiden.

Datenüberprüfung: Abnormale Ms-Werte müssen wiederholt getestet und in Kombination mit einer metallografischen oder XRD-Analyse bestätigt werden.

12. Anhänge

Anhang A (informativ): Beziehung zwischen magnetischer Sättigung von Kobalt und Kohlenstoffgehalt.

Der Ms-Bereich typischer WCCo-Legierungen wird bereitgestellt (z. B. YG6: $Ms \approx 0,97 \mu Tm^3/kg$, YG8: $Ms \approx 1,29 \mu Tm^3/kg$).

Das Diagramm zeigt die Auswirkung der η -Phase und des freien Kohlenstoffs auf Ms (η -Phase nimmt um 1020 % ab, freier Kohlenstoff nimmt um 510 % ab).

Anhang B (informativ): Handbuch zur Gerätekalibrierung.

Empfohlene Kalibrierungshäufigkeit (monatlich oder alle 1000 Tests), Standardprobenanforderungen.

Anhang C (informativ): Fehlerquellenanalyse.

Inhomogenität der Probe, nicht kalibrierte Geräte, Störungen durch magnetische Felder in der Umgebung usw.

13. Links zu verwandten Normen

ASTM B886: Ähnliche Methode zur Bestimmung der magnetischen Sättigung von Hartmetall, wobei der Schwerpunkt auf der Zerstörungsfreiheit und der indirekten Bestimmung des Kohlenstoffgehalts liegt (ASTM B886, 2024).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang :

Prüfmethode für magnetische Sättigung von Hartmetall: ASTM B88624

1. Einleitung

Hartmetall (z. B. Wolframkarbid-Kobalt-Legierung, WCCo) wird aufgrund seiner hohen Härte, Verschleißfestigkeit und Zähigkeit häufig in der Industrie eingesetzt, beispielsweise für Schneidwerkzeuge, Formen und Bohrer. Die **magnetische Sättigungsstärke (Ms)** ist ein wichtiger Indikator zur Beurteilung des Gehalts und der Qualität ferromagnetischer Bindungsphasen (z. B. Kobalt und Nickel) in Hartmetall. Die Norm ASTM B88624 spezifiziert die Methode zur Bestimmung der Ms von Hartmetallpulvern und Sinterprodukten mittels eines magnetischen Sättigungsprüfgeräts. Dieses eignet sich für die zerstörungsfreie Qualitätskontrolle, die indirekte Bewertung des Kohlenstoffgehalts und die Produktabnahme. Dieser Artikel stellt den Inhalt von ASTM B88624 detailliert vor, einschließlich Umfang, Grundsätzen, Ausrüstung, Verfahren, Berechnungen und Berichtspflichten, um Praktikern als Referenz zu dienen.

2. Standardumfang

Diese Norm beschreibt ein zerstörungsfreies Prüfverfahren zur Bestimmung der magnetischen Sättigungsintensität (Ms) in Hartmetallpulvern und Sinterprodukten zur Bewertung des magnetischen Anteils ferromagnetischer Bindungsphasen (wie Kobalt, Nickel, Eisen). Mögliche Objekte sind:

Hartmetallpulver vor dem Sintern.

Sinterprodukte wie Messer, Formen, Bohrer.

Zweck des Tests:

Indirekte Bestimmung des Kohlenstoffgehalts, Erkennung der η -Phase (Co₃W₃C) oder des freien Kohlenstoffs.

Überprüfen Sie den Gehalt der Bindephase, um sicherzustellen, dass die Spezifikationen eingehalten werden.

Bewerten Sie die Qualität von Pulver und gesinterten Produkten auf Produktakzeptanz.

Die Norm basiert auf SI-Einheiten ($\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) und wird durch Inch-Pound-Einheiten ergänzt.

3. Begriffe und Definitionen

Hartmetall : Ein Verbundwerkstoff aus einer Hartphase (z. B. Wolframkarbid WC, Titankarbid TiC) und einer ferromagnetischen Bindungsphase (z. B. Kobalt, Nickel).

Magnetische Sättigungsintensität (Ms) : Die Intensität, bei der die Magnetisierung der Bindephase unter einem starken Magnetfeld ihren Maximalwert erreicht, mit der Einheit $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, die den Kobalt- bzw. Nickelgehalt widerspiegelt.

Ferromagnetische Bindephase : Kobalt (Co), Nickel (Ni) oder Eisen (Fe), sorgt für Magnetismus und Zähigkeit, wobei Kobalt am häufigsten vorkommt.

η -Phase : Nichtmagnetisches Karbid (wie Co₃W₃C), das bei Kohlenstoffmangel entsteht, was Ms und Zähigkeit reduziert.

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

Freier Kohlenstoff : Nicht magnetischer Kohlenstoff, der bei Kohlenstoffüberschuss ausgeschieden wird und Ms und Festigkeit verringert.

Magnetische Sättigungskonstante : Ms für reines Kobalt beträgt $16.116,3 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, für Nickel $5,4 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$.

4. Bedeutung und Verwendung

Zerstörungsfrei : Die Probe muss nicht zerstört werden, geeignet für Pulver- und Sinterprodukte.

Bewertung des Kohlenstoffgehalts : Ms spiegelt die Kohlenstoffbilanz wider, die η -Phase oder der freie Kohlenstoff verringert Ms.

Qualitätskontrolle : Überprüfung des Kobalt-/Nickelgehalts, Erkennung von Sinterfehlern (z. B. Oxide).

Produktabnahme : Stellen Sie sicher, dass das Produkt die Güteklassenspezifikationen (wie YG6, YG8) erfüllt.

Einschränkungen : Gilt nur für Hartmetalle mit ferromagnetischer Bindephase, nicht für nichtmagnetische Legierungen.

5. Testprinzip

Der Magnetismus von Hartmetall beruht auf der ferromagnetischen Bindephase (z. B. Kobalt), während die Hartphase (z. B. WC) keinen Einfluss auf den Magnetismus hat. Unter einem starken Magnetfeld (1,52 T) erreicht die Bindephase die magnetische Sättigung, und Ms ist proportional zum Bindephasengehalt. Die Formel zur Berechnung des Kobaltgehalts lautet $Ms \div 16,1 \mu\text{Tm}^3/\text{kg} \approx \text{Kobalt-Massenanteil}$. Beispielsweise bedeutet $Ms = 1,61 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, dass der Kobaltgehalt etwa 10 % beträgt. Nichtmagnetische Verunreinigungen (z. B. η -Phase, freier Kohlenstoff, Oxide) reduzieren Ms, und abnormale Werte weisen auf Qualitätsprobleme hin.

6. Prüfgeräte

Magnetischer Sättigungstester : wie Koerzimat MS, Sigmameter, ausgestattet mit einem starken Magnetfeldgenerator (1,52 T) und einem Magnetflusserkennungssystem (Genauigkeit $\pm 0,5\%$).

Präzisionswaage : Genauigkeit $\pm 0,01 \text{ g}$, Messung der Probenmasse.

Kalibrierstandardprobe : reines Kobalt ($Ms = 16,1 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) oder Hartmetall mit bekanntem Ms.

Gerät mit konstanter Temperatur : Testumgebungstemperatur 205°C .

Entmagnetisierungsgerät (optional): Entfernen Sie die Restmagnetisierung von Proben.

7. Musteranforderungen

Typ : Pulver vor dem Sintern oder gesintertes Produkt (z. B. Werkzeuge, Formen).

Form und Größe : Beliebige Form (z. B. Zylinder, Würfel), Größe 510 mm, Masse 0,550 g.

Oberfläche : Sauber, frei von Öl, Oxidschicht oder mechanischen Beschädigungen.

Gleichmäßigkeit : Die innere Zusammensetzung ist gleichmäßig, ohne Risse oder Poren.

Probenahme : Mindestens 3 repräsentative Proben pro Charge.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8. Testschritte

Gerätekalibrierung :

Kalibriert mit reinem Kobalt oder zertifizierten Hartmetallproben, Ms-Fehler $\leq \pm 1$ %.

Kalibrierdaten (Standardprobe Ms , Datum) aufzeichnen.

Probenvorbereitung :

Reinigen Sie die Probe, um Öl, Schmutz und Oxide zu entfernen.

Wiegen Sie die Masse (in g, $\pm 0,01$ g).

Bei Restmagnetisierung Entmagnetisierungsgeräte verwenden.

Messung der magnetischen Sättigung :

Die Probe wurde in ein starkes Magnetfeld (1,52 T) gelegt, um sicherzustellen, dass die Kobaltphase vollständig magnetisiert war.

Messen Sie den magnetischen Fluss und zeichnen Sie Ms ($\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) auf.

Die Messung wurde dreimal wiederholt und der Durchschnittswert ermittelt. Die Einzelabweichung betrug $\leq \pm 0,5$ %.

Datensätze :

Notieren Sie die Probennummer, Masse, den Ms-Wert und die Testbedingungen (magnetische Feldstärke, Temperatur).

Wenn Ms abnormal ist, überprüfen Sie die Probe oder das Gerät und führen Sie den Test bei Bedarf erneut durch.

9. Berechnung und Ausdruck

Magnetische Sättigungsintensität :

$$M_s = \frac{\text{磁通量}}{\text{样品质量}}$$

Die Einheit ist $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, mit 3 Nachkommastellen (zB 1,610 $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$).

Kobaltgehalt :

$$\text{钴质量分数 (\%)} = \frac{M_s}{16.1} \times 100$$

Behalten Sie 1 Dezimalstelle (z. B. 10,0 %).

Relative magnetische Sättigung (S) :

$$S = \frac{M_{s\text{测量}}}{M_{s\text{理论}}}$$

Die MS-Theorie basiert auf dem Kobaltgehalt, $S < 0,9$ weist auf die η -Phase hin und $S > 1,1$ weist auf freien Kohlenstoff hin.

Genauigkeit : Wiederholfehler $\leq \pm 1$ %, Abweichung von Charge zu Charge $\leq \pm 2$ %.

10. Ergebnisanalyse

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Normalbereich : Der Ms der Sinterlegierung beträgt 85–95 % des theoretischen Werts (da sich ein Teil des Kobalts in WC auflöst oder eine nichtmagnetische Phase bildet).

Ungewöhnliche Situation :

Ms ist niedrig (<90 %): unzureichender η -Phase-, Oxid- und Kobaltgehalt.

Ms ist zu hoch (>110 %): Der Gehalt an freiem Kohlenstoff und Kobalt überschreitet den Standard.

Ergänzende Überprüfung : Abnormale Ms müssen mit einer metallografischen Analyse (Mikroskopbeobachtung der η -Phase, freier Kohlenstoff), Röntgenbeugung oder chemischen Analyse (ICP-Messung des Kobaltgehalts) kombiniert werden.

11. Prüfbericht

Der Bericht enthält:

Standardreferenz: ASTM B88624.

Probeninformationen: Anzahl, Typ (Pulver/Sinter), Form, Masse, Charge.

Testbedingungen: Gerätemodell, magnetische Feldstärke, Temperatur.

Ergebnisse: Ms-Wert, Kobaltgehalt, relative magnetische Sättigung.

Kalibrierungsinformationen: Ms-Wert der Standardprobe, Kalibrierungsdatum.

Beschreibung der Ausnahme: Grund für die Abweichung (z. B. η -Phase, freier Kohlenstoff).

Prüfer: Name, Datum, Unterschrift.

Laborinformationen: Name, Adresse, Zertifizierungsqualifikationen.

12. Präzision und Voreingenommenheit

Wiederholbarkeit : Bei gleicher Ausrüstung und gleichem Bediener beträgt die Abweichung von 3 Messungen $\leq \pm 0,5$ %.

Reproduzierbarkeit : Die Chargenabweichung beträgt zwischen verschiedenen Laboren und Geräten $\leq \pm 2$ %.

Abweichung : Keine systematische Abweichung, Ms-Werte auf SI-Einheiten rückführbar.

Einflussfaktoren : ungleichmäßige Proben, nicht kalibrierte Geräte und Störungen durch magnetische Felder in der Umgebung.

13. Hinweise

Gerätekalibrierung : Monatlich oder alle 1000 Tests mit reinem Kobalt oder zertifizierten Proben.

Homogenität der Probe : Vermeiden Sie Risse, Poren oder eine ungleichmäßige Zusammensetzung.

Umweltkontrolle : keine starken Magnetfeldstörungen, Temperatur 2025 °C.

Sicherheit : Befolgen Sie die Betriebsanweisungen für das Gerät und vermeiden Sie den Einfluss starker Magnetfelder.

Datenüberprüfung : Wiederholte Prüfung abnormaler Ergebnisse, kombiniert mit metallografischer oder chemischer Analyse.

14. Anhang

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 A : Beziehung zwischen magnetischer Sättigung und Kohlenstoffgehalt.

Typische Legierungen: YG6 (6 % Kobalt, $M_s \approx 0,97 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$), YG8 (8 % Kobalt, $M_s \approx 1,29 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$).

η -Phasenreduktion M_s 1020 %, freier Kohlenstoff um 510 % reduziert.

Anhang B : Handbuch zur Gerätekalibrierung.

Kalibrierungshäufigkeit, Standardprobenanforderungen, Fehlerkontrolle.

Anhang C : Fehlerquellen und Kontrollen.

Probenvorbereitung, Gerätestabilität, Umwelteinflüsse.

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 38492015 Bestimmung des magnetischen Sättigungswerts von Kobalt in Hartmetall

Ausgabedatum : 10. Dezember 2015

Umsetzungsdatum : 1. Juli 2016

Status : Derzeit gültig.

Anwendungsbereich : Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung der magnetischen Sättigung von Kobalt in Hartmetall fest. Sie ist auf Hartmetall mit ferromagnetischem Bindemittel (hauptsächlich Kobalt, Massenanteil $\geq 3\%$) anwendbar und wird zur Qualitätskontrolle, zur Überprüfung des Kobaltgehalts und zur Beurteilung der Kohlenstoffbilanz verwendet.

1. Geltungsbereich

Diese Norm beschreibt ein zerstörungsfreies Verfahren zur Bestimmung **des magnetischen Sättigungswerts** (M_s) von Kobalt in Hartmetallen zur Beurteilung des Kobaltgehalts, der Kohlenstoffbilanz und der Legierungsqualität.

Anwendbar auf:

Produkte aus gesintertem Hartmetall (z. B. Werkzeuge, Formen, Bohrer).

Hartmetallpulver vor dem Sintern (je nach Gerätekapazität).

Zweck des Tests:

Überprüfen Sie, ob der Kobaltgehalt den Spezifikationen entspricht (z. B. YG6, YG8).

Indirekte Bestimmung des Kohlenstoffgehalts, Erkennung der η -Phase ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) oder des freien Kohlenstoffs.

Bewerten Sie die Qualität des Sinterprozesses und identifizieren Sie nichtmagnetische Verunreinigungen wie Oxide.

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

Einheit: Es werden SI-Einheiten verwendet. Der magnetische Sättigungswert wird in $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ oder $\text{kA} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$ angegeben.

2. Normative Verweisungen

GB/T 3848 : Chemisches Analyseverfahren für Hartmetall (wird als Ergänzung zur Überprüfung des Kobaltgehalts verwendet).

GB/T 4198 : Verfahren zur Probenahme und Probenvorbereitung für Hartmetall.

ISO 3326:2013 : Verfahren zur Bestimmung der magnetischen Sättigung von Kobalt in Hartmetall (Diese Norm stimmt hinsichtlich ihres technischen Inhalts mit ISO 3326 überein und die Übersetzung ist gleichwertig).

ASTM B886 : Verfahren zur Bestimmung der magnetischen Sättigung von Hartmetall (Referenzstandard, ähnliches Verfahren).

3. Begriffe und Definitionen

Hartmetall : Ein Verbundwerkstoff aus einer Hartphase (z. B. Wolframkarbid WC, Titankarbid TiC) und einer ferromagnetischen Bindungsphase (z. B. Kobalt, Nickel).

Magnetische Sättigung von Kobalt (Ms) : Der Wert der maximalen Magnetisierungsintensität der Kobalt-Bindephase unter einem starken Magnetfeld, Einheit: $\mu\text{Tm}^3 / \text{kg}$, spiegelt den Kobaltgehalt und die Reinheit wider.

Ferromagnetische Bindungsphase : ferromagnetische Metalle wie Kobalt (Co) und Nickel (Ni), wobei Kobalt das Hauptbindemittel ist.

η -Phase (Eta-Phase) : Nichtmagnetische Carbide (wie $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$), die entstehen, wenn nicht genügend Kohlenstoff vorhanden ist, wodurch Magnetismus und Zähigkeit verringert werden.

Freier Kohlenstoff : Nicht magnetischer Kohlenstoff, der bei Kohlenstoffüberschuss ausfällt und die Festigkeit schwächt.

Magnetische Sättigungskonstante : Ms für reines Kobalt beträgt $16,116,3 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ (ScienceDirect, 2020).

4. Grundsatz

Der Magnetismus von Hartmetall kommt von der Kobaltbindephase, und die harte Phase (wie WC) trägt nicht zum Magnetismus bei.

Unter starken Magnetfeldern (typischerweise 1,52 T) erreicht die Kobaltphase die magnetische Sättigung und Ms ist proportional zum Kobaltgehalt. Die Ms-Konstante von reinem Kobalt beträgt $16,1 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$ (typischer Wert).

Kobaltgehalt: $\text{Ms} \div 16,1 \mu\text{Tm}^3/\text{kg} \approx \text{Kobalt-Massenanteil}$. Beispielsweise bedeutet $\text{Ms} = 1,61 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, dass der Kobaltgehalt etwa 10 % beträgt.

Einfluss nichtmagnetischer Verunreinigungen:

η -Phase oder Oxide reduzieren Ms 1020 %, was auf unzureichenden Kohlenstoff hinweist.

Die Reduktion des freien Kohlenstoffs beträgt Ms 510 %, was auf einen Kohlenstoffüberschuss hinweist.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Der Test ist zerstörungsfrei und unabhängig von Probenform und -größe (innerhalb der Grenzen der Ausrüstung).

5. Geräte

Magnetanalysator : wie Koerzimat MS, Sigmameter oder Haushaltsgeräte (wie ein magnetischer Sättigungstester aus einer chinesischen Instrumentenfabrik), ausgestattet mit:

Starker Magnetfeldgenerator (1,52 T, um die Sättigung der Kobaltphase sicherzustellen).

Magnetfluss-Erkennungssystem (Genauigkeit $\pm 0,5\%$).

Präzisionswaage : Genauigkeit $\pm 0,01$ g, Messung der Probenmasse.

Kalibrierstandard : reines Kobalt ($M_s = 16,1 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) oder Hartmetallproben mit bekanntem M_s , rückführbar auf SI-Einheiten.

Gerät mit konstanter Temperatur : Die Temperatur der Testumgebung wird auf $20 \pm 2^\circ\text{C}$ geregelt, um thermische Effekte zu vermeiden.

Entmagnetisierungsgerät (optional): Entfernen Sie die Restmagnetisierung von Proben.

6. Prüfling

Typ : Gesinterte Hartmetallprodukte (bevorzugt) oder Pulver vor dem Sintern (je nach Gerätekapazität).

Form und Größe : Beliebige Form (z. B. Zylinder, Würfel, Werkzeugrohling), Größe 510 mm, Masse 0,550 g.

Oberflächenanforderungen : sauber, frei von Öl, Oxidschicht oder mechanischen Beschädigungen.

Homogenität : Die innere Zusammensetzung ist gleichmäßig, ohne sichtbare Risse oder Poren.

Probenahme : Gemäß GB/T 4198 mindestens 3 repräsentative Proben pro Charge.

7. Prüfschritte (Vorgehensweise)

Gerätekalibrierung :

Das Instrument wird mit reinem Kobalt oder zertifizierten Hartmetallproben kalibriert und der M_s -Fehler wird auf $\pm 1\%$ begrenzt.

Notieren Sie die Kalibrierungsdaten (M_s -Wert der Standardprobe, Kalibrierungsdatum).

Probenvorbereitung :

Reinigen Sie die Probenoberfläche, um Öl, Schmutz und Oxide zu entfernen.

Wiegen Sie die Probenmasse mit einer Präzisionswaage (m, Einheit: g, Genauigkeit: $\pm 0,01$ g).

Wenn die Probe eine Restmagnetisierung aufweist, verwenden Sie ein Entmagnetisierungsgerät.

Messung der magnetischen Sättigung :

Platzieren Sie die Probe in einem starken Magnetfeld (1,52 T) eines Magnetanalysators, um sicherzustellen, dass die Kobaltphase vollständig magnetisiert ist.

Messen Sie den magnetischen Fluss und notieren Sie M_s (in $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$).

Die Messung wurde dreimal wiederholt und der Durchschnittswert ermittelt. Die Abweichung einer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Einzelmessung betrug $\leq \pm 0,5 \%$.

Datensätze :

Notieren Sie die Probennummer, Masse, den Ms-Wert und die Testbedingungen (Temperatur, magnetische Feldstärke).

Wenn Ms abnormal ist, überprüfen Sie die Probe oder das Gerät und führen Sie den Test bei Bedarf erneut durch.

8. Berechnung und Ergebnisdarstellung

Magnetischer Sättigungswert :

$$M_s = \frac{\text{磁通量}}{\text{样品质量}}$$

Die Einheit ist $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$, mit 3 Nachkommastellen (zB 1,610 $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$).

Kobaltgehalt :

$$\text{钴质量分数 (\%)} = \frac{M_s}{16.1} \times 100$$

Behalten Sie 1 Dezimalstelle (z. B. 10,0 %).

Relative magnetische Sättigung (S) :

$$S = \frac{M_{s\text{测量}}}{M_{s\text{理论}}}$$

Die MS-Theorie basiert auf dem Kobaltgehalt, $S < 0,9$ weist auf die η -Phase hin und $S > 1,1$ weist auf freien Kohlenstoff hin.

Präzision : Ergebnisgenauigkeit $\pm 1 \%$, Variation von Charge zu Charge $\leq \pm 2 \%$.

9. Ergebnisanalyse

Normalbereich : Der Ms der Sinterlegierung beträgt üblicherweise 85–95 % des theoretischen Werts (da sich ein Teil des Kobalts in WC auflöst oder eine nichtmagnetische Phase bildet).

Ungewöhnliche Situation :

Ms ist niedrig ($< 90 \%$): Es kann eine η -Phase, ein Oxid oder ein unzureichender Kobaltgehalt vorliegen.

Ms ist zu hoch ($> 110 \%$): Möglicherweise liegt ein zu hoher Gehalt an freiem Kohlenstoff oder Kobalt vor.

Ergänzende Überprüfung : Abnormale Ergebnisse müssen mit einer metallografischen Analyse (Mikroskopbeobachtung der η -Phase, freier Kohlenstoff), Röntgenbeugung (XRD) oder chemischen Analyse (Messung des Kobaltgehalts gemäß GB/T 3848) kombiniert werden.

10. Prüfbericht

Der Bericht sollte Folgendes enthalten:

Standardreferenz: GB/T 38492015.

Probeninformationen: Anzahl, Typ (Pulver/Sinter), Form, Masse, Charge.

Testbedingungen: Gerätemodell, magnetische Feldstärke (T), Umgebungstemperatur ($^{\circ}\text{C}$).

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

Ergebnisse: Ms-Wert ($\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$), Kobaltgehalt (%), relative magnetische Sättigung (S).

Kalibrierungsinformationen: Ms-Wert der Standardprobe, Kalibrierungsdatum.

Beschreibung der Ausnahmen: Falls Abweichungen vorliegen, beschreiben Sie mögliche Ursachen (z. B. η -Phase, freier Kohlenstoff).

Prüfer: Name, Datum, Unterschrift.

Laborinformationen: Name, Adresse, Akkreditierung (falls zutreffend).

11. Präzision und Voreingenommenheit

Wiederholbarkeit : Bei gleicher Ausrüstung und gleichem Bediener beträgt die Abweichung von 3 Messungen $\leq \pm 0,5\%$.

Reproduzierbarkeit : Die Chargenabweichung beträgt in verschiedenen Laboren und auf verschiedenen Geräten $\leq \pm 2\%$.

Verzerrung : Keine systematische Verzerrung, Ms-Werte sind auf SI-Einheiten rückführbar, Kalibrierung gewährleistet Genauigkeit.

Einflussfaktoren : ungleichmäßige Proben, nicht kalibrierte Geräte und Störungen durch magnetische Felder in der Umgebung.

12. Vorsichtsmaßnahmen

Gerätekalibrierung : Monatlich oder alle 1000 Tests mit reinem Kobalt oder zertifizierten Proben.

Gleichmäßigkeit der Probe : Vermeiden Sie Risse, Poren oder ungleichmäßige Zusammensetzung, die die MS-Genauigkeit beeinträchtigen.

Umweltkontrolle : Die Testumgebung weist keine starken Magnetfeldstörungen auf und die Temperatur beträgt $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Sicherheit : Halten Sie die Betriebsverfahren der Geräte ein, um die Auswirkungen starker Magnetfelder auf Personal oder elektronische Geräte zu vermeiden.

Datenüberprüfung : Abnormaler Ms-Wert. Der Wert muss wiederholt und durch metallografische oder chemische Analyse bestätigt werden.

13. Anhänge

Anhang A (informativ) : Beziehung zwischen magnetischer Sättigung von Kobalt und Kohlenstoffgehalt.

Typischer Ms-Bereich für Legierungen: YG6 (6 % Kobalt, $M_s \approx 0,97 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$), YG8 (8 % Kobalt, $M_s \approx 1,29 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$).

η -Phasenreduktion Ms 1020 %, freier Kohlenstoff um 510 % reduziert.

Anhang B (informativ) : Handbuch zur Gerätekalibrierung.

Kalibrierungshäufigkeit (monatlich oder alle 1000 Tests), Standardprobenanforderungen.

Anhang C (nur zur Information) : Fehlerquellenanalyse.

Inhomogenität der Probe, nicht kalibrierte Geräte, Störungen durch magnetische Felder in der Umgebung usw.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14. Links zu verwandten Normen

ISO 3326:2013 : Bestimmung der magnetischen Sättigung von Kobalt in Hartmetall. GB/T 3849 ist gleichwertig und hat den gleichen technischen Inhalt.

ASTM B88624 : Methode zur Bestimmung der magnetischen Sättigung von Hartmetall, ähnlicher Ansatz, umfasst sowohl Pulver als auch Sinterprodukte.

GB/T 3848 : Chemische Analysemethoden für Hartmetall, zusätzliche Überprüfung des Kobaltgehalts.

GB/T 3850 : Eine Methode zur Bestimmung der Koerzitivfeldstärke von Hartmetall ermöglicht in Kombination mit einer magnetischen Kobaltprüfung eine umfassende Bewertung der Mikrostruktur.

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 3850 : Bestimmungsmethode der Koerzitivfeldstärke von Hartmetall

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung der Koerzitivfeldstärke (H_c) von Hartmetallwerkstoffen und -produkten fest. Das Verfahren ist anwendbar auf Hartmetalle auf Wolframkarbidbasis (z. B. WC-Co-Legierungen, typische Güten sind YG6, YG8 usw.) mit Kobalt (Co) als Bindephase. Durch die Messung der Koerzitivfeldstärke werden Korngröße, Kobaltgehaltsverteilung und mikrostrukturelle Integrität des Hartmetalls indirekt charakterisiert. Das Verfahren kann zur Qualitätskontrolle im Produktionsprozess, zur Produktabnahme und zur zerstörungsfreien Prüfung in Forschung und Entwicklung eingesetzt werden.

Diese Norm gilt nicht für nicht auf Kobalt basierende Hartmetalle (wie etwa auf Nickel- oder Eisenbasis basierende Hartmetalle) oder nicht magnetische Werkstoffe.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Norm von wesentlicher Bedeutung. Bei datierten Dokumenten gilt ausschließlich die datierte Fassung für diese Norm. Bei undatierten Dokumenten gilt die jeweils neueste Fassung (einschließlich aller Änderungen) für diese Norm.

GB/T 3848 Bestimmung des Kobaltgehalts in Hartmetall

GB/T 3849 Prüfverfahren für magnetische Eigenschaften von Hartmetall

GB/T 223.1 Chemische Analysemethoden für Stahl und Legierungen

GB/T 230.1 Rockwell-Härteprüfung für metallische Werkstoffe Teil 1: Prüfverfahren

ISO 3326:2013 Verfahren zur Bestimmung der Koerzitivfeldstärke von Hartmetall

ASTM B887-Standard zur Bestimmung der Koerzitivfeldstärke von Hartmetall

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Koerzitivkraft (H_c)

In Hartmetall ist dies die umgekehrte magnetische Feldstärke, die erforderlich ist, um die Magnetisierungsintensität der Kobaltbindephase vom Sättigungszustand auf Null zu reduzieren. Die Einheit ist kA/m (Kiloampere/Meter).

3.2 Magnetische Sättigung (M_s)

Unter Einwirkung eines äußeren Magnetfeldes (üblicherweise $>1,5$ T) erreicht die Kobaltphase den Zustand maximaler Magnetisierungsstärke mit der Einheit $\mu Tm^3/kg$ (magnetisches Moment pro Kilogramm Material).

3.3 Hartmetall ist ein Verbundwerkstoff aus Wolframkarbid (WC)

als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase, der durch ein pulvermetallurgisches Verfahren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hergestellt wird.

3.4 Korngröße Die durchschnittliche Größe der

Wolframkarbidpartikel in Hartmetall, ausgedrückt in Mikrometern (μm), beeinflusst den Koerzitivkraftwert.

Die 3,5 η -Phase (Eta-Phase)

ist eine spröde Phase, die sich aufgrund unzureichenden Kohlenstoffgehalts in Hartmetall bildet. Ihre chemische Formel lautet $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$, was zu verringerten magnetischen Eigenschaften und Zähigkeit führt.

3.6 Freier Kohlenstoff:

Kohlenstoff, der aufgrund eines übermäßigen Kohlenstoffgehalts im Hartmetall ausgeschieden wird und die magnetischen Eigenschaften und die Härte beeinträchtigt.

4 Grundsatz

Die Koerzitivfeldstärke von Hartmetall beruht auf dem Ferromagnetismus der Kobaltbindephase (Curietemperatur liegt bei etwa $1145\text{ }^{\circ}\text{C}$, Magnetisierungsintensität beträgt $1,7\text{--}1,75\text{ }\mu\text{B/Atom}$), während die harte Phase (wie WC) ein nicht magnetisches Material ist und nicht zum Magnetismus beiträgt. Das Grundprinzip des Koerzitivfeldstärkentests ist wie folgt: Zunächst wird die Kobaltphase durch Einwirkung eines starken externen Magnetfelds ($1,5\text{--}2\text{ T}$) vollständig bis zur Sättigung magnetisiert, dann wird ein allmählich zunehmendes umgekehrtes Magnetfeld angelegt, um die Magnetfeldintensität zu messen, die die Magnetisierungsintensität auf Null sinken lässt, d. h. die Koerzitivfeldstärke (H_c). Die Koerzitivfeldstärke ist umgekehrt proportional zur Korngröße der Kobaltphase. Der H_c -Wert von feinkörnigem Hartmetall (Körner $0,2\text{--}0,5\text{ }\mu\text{m}$) beträgt üblicherweise $25\text{--}40\text{ kA/m}$, und der H_c -Wert von grobkörnigem Hartmetall (Körner $> 5\text{ }\mu\text{m}$) beträgt $5\text{--}10\text{ kA/m}$. Darüber hinaus wird die Koerzitivfeldstärke auch durch den Kobaltgehalt, die Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur und Defekte (wie η -Phase oder Poren) beeinflusst, die zur Bewertung der Mikrostruktur und der Prozessqualität von Hartmetall verwendet werden können.

5. Instrumente und Ausrüstung

5.1 Koerzitivfeldstärkemessgerät

Permanentmagnet- oder elektromagnetische Koerzitivfeldstärkemessgeräte können ein $1,5$ bis 2 T starkes Magnetfeld mit einer Messgenauigkeit von $\pm 1\text{ kA/m}$ und einer Wiederholbarkeit von $< 2\%$ erzeugen.

5.2 Magnetanalysatoren

wie Koerzimater 1.097 oder Sigmameter 2.068 können Koerzitivfeldstärke und magnetische Sättigungsintensität gleichzeitig mit einer Genauigkeit von $\pm 0,5\%$ messen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 Das Vibrating Sample Magnetometer (VSM)

dient zur hochpräzisen Messung mit einem Fehler von $\pm 0,1$ kA/m und eignet sich für die Laborforschung.

5.4 Waage

mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01$ g zum Wiegen der Probenmasse.

5.5 Zu den Reinigungswerkzeugen

gehören Ethanol und eine nicht magnetische Pinzette zum Reinigen der Probenoberfläche.

5.6 Die Temperatur der Testumgebung wird **in einer Konstanttemperaturbox** auf 20–25 °C geregelt und die Luftfeuchtigkeit liegt bei <60 %.

5.7 Ein metallografisches Mikroskop

mit einer 200- bis 500-fachen Vergrößerung wird zur Überprüfung der Korngröße und Mikrostruktur verwendet.

5.8 Ein Röntgendiffraktometer (XRD)

wird zum Erkennen der η -Phase ($2\theta \approx 40^\circ$) oder des freien Kohlenstoffs ($2\theta \approx 26^\circ$) verwendet.

6. Proben

6.1 Probenanforderungen

Form: Das Exemplar ist zylindrisch oder kubisch und hat eine Größe von 5–10 mm (Durchmesser oder Seitenlänge).

Oberflächenbeschaffenheit: Die Oberfläche sollte eben, frei von Rissen (Länge < 5 μm), Poren (Porosität < 0,05 %) oder Oxidschicht sein und bei Bedarf mit Ethanol gereinigt werden.

Homogenität: Abweichung der Zusammensetzung < 0,1 Gew.-%, Schwankung der Korngröße < 5 %, Vermeidung innerer Defekte, die die Messung beeinflussen.

Menge: Jede Charge muss mindestens 3 Proben umfassen und die Proben müssen aus demselben Sinterprozess stammen.

6.2 Probenvorbereitung

Schneiden Sie die Proben aus Hartmetallrohlängen oder Fertigprodukten (z. B. Werkzeugen, Matrizen), um eine Spannungseinleitung beim Schneiden zu vermeiden (Spannung < 100 MPa).

Wenn sich auf der Oberfläche der Probe eine Oxidschicht oder Öl befindet, wischen Sie diese mit Ethanol ab und trocknen Sie sie.

Wiegen Sie die Probe (Genauigkeit $\pm 0,01$ g) und notieren Sie die Probennummer.

7 Prüfmethoden

7.1 Prüfbedingungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Umgebungstemperatur: 20–25 °C, Temperaturschwankung $<\pm 2$ °C, um die magnetischen Eigenschaften der Kobaltphase nicht zu beeinträchtigen.

Umgebungsfeuchtigkeit: <60 %, um zu verhindern, dass Feuchtigkeit eine Mikrokorrosion der Kobaltphase verursacht (die Magnetisierungsintensität nimmt um <2 % ab).

Magnetfeldstörungen: Im Testbereich gibt es keine starken Magnetfeldstörungen ($<0,1$ mT).

7.2 Gerätekalibrierung

unter Verwendung von Standardproben (z. B. reines Kobalt, $H_c = 5$ kA/m, $M_s = 16,2$ $\mu\text{Tm}^3/\text{kg}$) mit einem Fehler von $\leq \pm 1$ %.

Kalibrierungszyklus: einmal im Monat oder vor jedem Test.

Überprüfen Sie die magnetische Feldstärke (1,5–2 T), um sicherzustellen, dass die Kobaltphase vollständig magnetisierbar ist.

7.3 Prüfschritte

Legen Sie die Probe in den Testbereich des Koerzitivfeldmessgeräts und fixieren Sie sie mit einer nicht magnetischen Klammer, um sicherzustellen, dass sich die Probe nicht bewegt.

Legen Sie ein starkes Magnetfeld (1,5–2 T) an, um die Kobaltphase vollständig bis zur Sättigung zu magnetisieren und halten Sie es 5–10 Sekunden lang aufrecht.

Legen Sie allmählich ein umgekehrtes Magnetfeld an und zeichnen Sie die Magnetfeldstärke in kA/m auf, wenn die Magnetisierungsintensität auf Null fällt, d. h. die Koerzitivkraft (H_c).

Jede Probe wurde 3 mal gemessen und der Durchschnittswert mit einer Abweichung von $<2\%$ ermittelt.

Notieren Sie die Probennummer, Masse, den H_c -Wert und die Testbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, Instrumentenmodell).

7.4 Datenverarbeitung

Der Durchschnitt der drei Messwerte für jede Probe wurde als endgültiger H_c -Wert berechnet.

Wenn der H_c -Wert derselben Probencharge um >10 % schwankt (z. B. ändert sich YG8 von 15 kA/m auf 25 kA/m), deutet dies auf eine ungleichmäßige Sinterung hin und es sind weitere Tests erforderlich.

basierend auf der empirischen Formel $H_c \approx k/d$ (k ist eine Konstante, d ist die Korngröße). Beispielsweise entspricht $H_c = 30$ kA/m einer Korngröße von etwa 0,2–0,5 μm .

8 Ergebnisausdruck

Der Koerzitivkraftwert wird in kA/m mit einer Dezimalstelle angegeben (z. B. 15,2 kA/m).

Der Prüfbericht sollte folgende Angaben enthalten:

a) Probennummer; b) Koerzitivfeldstärke (H_c); c) Prüfbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit); d) Instrumentenmodell und Kalibrierungsstatus; e) wenn der H_c -Wert vom Zielwert um $>\pm 5$ % abweicht (z. B. YG6-Ziel 18 kA/m, gemessen $<17,1$ oder $>18,9$ kA/m), sollten die möglichen Gründe erläutert werden (z. B. η -Phase oder Kornanomalien).

9 Präzision und Bias

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.1 Präzision

Der Hc-Wert einer wiederholten Messung derselben Probe durch denselben Bediener und dieselbe Ausrüstung innerhalb eines kurzen Zeitraums liegt unter 2 %.

Reproduzierbarkeit: Die Abweichung der von verschiedenen Laboren, verschiedenen Bedienern und verschiedenen Geräten gemessenen Hc-Werte beträgt <5 %.

9.2 Verzerrung

Kalibrierungsfehler des Instruments: ± 1 kA/m.

Inhomogenität der Probe: Inhomogenitäten in der Zusammensetzung oder Korngröße führen zu Schwankungen des Hc-Werts um 5–10 %.

Umwelteinflüsse: Starke Magnetfelder ($>0,1$ mT) verursachen Hc-Abweichungen von >2 %.

10 Einflussfaktoren

10.1 Korngröße:

Je kleiner die Korngröße, desto höher die Koerzitivfeldstärke. Bei feinkörnigem Hartmetall (Korngröße $0,2 \mu\text{m}$) beträgt die Koerzitivfeldstärke 30–40 kA/m, bei grobkörnigem Hartmetall (Korngröße $5 \mu\text{m}$) 5–10 kA/m.

10.2 Kobaltgehalt

Durch die Erhöhung des Kobaltgehalts (von 6 % auf 15 %) lässt sich die Magnetisierung der Kobaltphase leichter umkehren und Hc nimmt leicht ab (10–15 %).

10.3 Die Bildung der Kohlenstoffgleichgewichtsphase

η ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) führt zu einer Verringerung von Hc um 5 – 10 % (beispielsweise verringert sich YG8 von 15 kA/m auf 13 kA/m), und der Einfluss von freiem Kohlenstoff (C) beträgt <2 %.

10.4 Sinterprozess

Hohe Temperaturen (> 1500 °C) führen zu einer Vergrößerung der Körner und einer Verringerung des Hc von 20 kA/m auf 8 kA/m.

Durch Heißisostatisches Pressen (HIP, 150 MPa, 1350 °C) wird die mikrostrukturelle Homogenität verbessert und der Hc-Wert um 5–10 % erhöht.

10.5 Eine fehlerhafte

Porosität $> 0,1$ % oder Restspannung (> 100 MPa) führt zu Hc-Schwankungen von 10–15 %, und die Dichte muss optimiert werden ($> 99,5$ %).

10.6 Umweltfaktoren

Hohe Temperaturen (800 °C) reduzieren Hc um 5–8 % (z. B. sinkt YG10 von 18 kA/m auf 16 kA/m).

Feuchte Hitze (40 °C, 90 % Luftfeuchtigkeit) betrifft <2 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11 Anwendung der Prüfergebnisse

11.1 Leistungsklassifizierung

Hc >25 kA/m: geeignet für Werkzeuge mit hoher Härte (wie z. B. PCB-Bohrer, HRA >92, Lebensdauer >4 Stunden).

Hc <10 kA/m: geeignet für Formen mit hoher Zähigkeit (wie z. B. Bohrkronen im Bergbau, KIC >15 MPa·m^{1/2}, Lebensdauer >200 Stunden).

11.2 Prozessoptimierung Abnorme

Hc-Werte (Schwankung > 10 %) deuten auf grobe Körner oder ungleichmäßige Sinterung hin. Die Sintertemperatur (1350–1450 °C) kann angepasst oder Korninhibitoren (z. B. VC 0,2–0,5 Gew.-%) hinzugefügt werden.

11.3 Fehlererkennung Ein Rückgang

des Hc um 5–10 % (z. B. YG8 von 15 kA/m auf 13 kA/m) kann auf die η-Phase zurückzuführen sein und der Kohlenstoffgehalt muss angepasst werden (Ziel 6,0 ± 0,2 Gew.-%).

11.4 Anwendungsbeispiele

Beim Schneiden von Flugzeugstahl (Schnittgeschwindigkeit 250 m/min) hat ein Werkzeug mit 10 % Co den Hc-Test (18 kA/m) bestanden und dabei eine Härte von HRA 90 und Schlagfestigkeit sichergestellt. Die Standzeit des Werkzeugs erreichte 3,5 Stunden.

12 Hinweise

12.1 Kalibrierung des Instruments

Kalibrieren Sie das Instrument vor dem Testen auf einen Fehler von <±1 %, um systematische Abweichungen zu vermeiden.

12.2 Homogenität der Proben

Die Proben müssen frei von Rissen (<5 µm), Poren (<0,05 %), Zusammensetzungsabweichungen <0,1 Gew.-% und Korngrößenschwankungen <5 % sein.

12.3 Umweltkontrolle:

Der Testbereich weist kein starkes Magnetfeld (<0,1 mT) auf, die Temperatur beträgt 20–25 °C und die Luftfeuchtigkeit liegt bei <60 %.

12.4 Umfassende Überprüfung

Wenn der Hc-Wert anormal ist (Abweichung > 5 %), beobachten Sie die Korngrenzen mit einem metallografischen Mikroskop (500-fache Vergrößerung) oder verwenden Sie ICP, um den Kobaltgehalt zu messen (Genauigkeit ± 0,05 Gew.-%).

13 Prüfbericht

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 Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

Standardnummer: GB/T 3850;

Probenbeschreibung: Marke, Charge, Größe;

Testbedingungen: Temperatur, Feuchtigkeit, magnetische Feldstörungen;

Instrumenteninformationen: Modell, Kalibrierungsstatus;

Testergebnisse: Koerzitivfeldstärke (H_c, kA/m), Abweichungsanalyse;

Abnormale Beschreibung: Wenn die Abweichung des H_c-Werts >5 % beträgt, erklären Sie die mögliche Ursache;

Testdatum: beispielsweise 21. Mai 2025;

Tester: Unterschrift.

14 Anhang (Informativer Anhang)

Anhang A Typische Koerzitivfeldstärkewerte

Tabelle A.1 Koerzitivfeldstärken gängiger Hartmetallsorten

Marke	Kobaltgehalt (Gew.-%)	Korngröße (μm)	Koerzitivkraft (kA/m)
YG6	6	1-2	15-20
YG8	8	2-3	10-15
YG10	10	2-4	8-12
Nanolegierung	8	0,05-0,2	50-60

Anhang B Fehleranalyse

B.1 Instrumentenfehler

±1 kA/m .

B.2 Inhomogenität der Probe Eine inhomogene

Zusammensetzung oder Korngröße führt zu Schwankungen des H_c-Werts um 5–10 %.

B.3 Umwelteinflüsse

Starke Magnetfelder (>0,1 mT) verursachen eine H_c-Abweichung von >2 %.

Anhang C Verbesserungsvorschläge

C.1 Verwendung eines hochpräzisen Vibrationsmagnetometers (VSM) mit einem Fehler von ±0,1 kA/m.

C.2 Verwendung künstlicher Intelligenz (KI) zur Analyse von H_c-Daten und Vorhersage von Korngröße und Defekten mit einer Genauigkeit von >90 %. C.3 Einführung von Hochtemperatur-Koerzitivfeldstärke-Prüfgeräten (unterstützt 800–1000 °C-Tests) zur Bewertung der Hochtemperaturleistung. C.4 Kombination von Infrarotspektroskopie zur Überwachung der Sinteratmosphäre, dynamischen Anpassung der Sinterparameter und Reduzierung von H_c-Schwankungen (<2 %).

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 D Testdatenbeispiele

Tabelle D.1 YG8 Hartmetall-Koerzitivfeldstärke-Testdaten

Probennr.	Masse (g)	Hc-Messwert (kA/m)	Durchschnittlicher Hc (kA/m)	Abweichung(%)
YG8-001	5.02	14,8, 15,0, 14,9	14.9	1.3
YG8-002	5.05	15.1, 15.3, 15.0	15.1	1.9
YG8-003	4,98	14.7, 14.9, 14.8	14.8	1.3

Anhang E Daten zur Umweltbelastung

Veränderungen des Hc-Wertes unter verschiedenen Umgebungsbedingungen

Umweltbedingungen	Hc (kA/m)	ändern(%)
Standard (25°C, 50% Luftfeuchtigkeit)	15,0	-
Hohe Temperatur (800 °C)	13.8	-8,0
Feuchte Hitze (40°C, 90% Luftfeuchtigkeit)	14.7	-2,0

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

GB/T 3848 Bestimmung des Kobaltgehalts in Hartmetall

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung des Kobaltgehalts (Co) in Hartmetall fest. Das Verfahren ist anwendbar auf Hartmetallwerkstoffe und -produkte (z. B. Güten YG6, YG8 usw.) mit Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt als Bindephase. Der Gewichtsanteil (Gew.-%) von Kobalt wird durch chemische oder instrumentelle Analyse bestimmt. Das Verfahren kann zur Qualitätskontrolle im Produktionsprozess, zur Produktabnahme und zur Komponentenanalyse in Forschung und Entwicklung eingesetzt werden.

Diese Norm gilt nicht für nicht auf Kobalt basierende Hartmetalle (wie etwa auf Nickel- oder Eisenbasis basierende Hartmetalle) oder Materialien, die andere signifikante Störelemente enthalten.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Norm von wesentlicher Bedeutung. Bei datierten Dokumenten gilt ausschließlich die datierte Fassung für diese Norm. Bei undatierten Dokumenten gilt die jeweils neueste Fassung (einschließlich aller Änderungen) für diese Norm.

GB/T 3849 Prüfverfahren für magnetische Eigenschaften von Hartmetall

GB/T 223.1 Chemische Analysemethoden für Stahl und Legierungen

GB/T 6682 Spezifikationen und Prüfverfahren für Wasser in analytischen Laboren

ISO 3909:1976 Bestimmung des Kobaltgehalts in Hartmetallen – Potentiometrisches Verfahren

ASTM E1019 Standardprüfverfahren - Analyse der chemischen Zusammensetzung von Legierungen

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Kobaltgehalt:

Der Gewichtsanteil (Gew.-%) von Kobalt im Hartmetall, bezogen auf die Gesamtmasse, gibt den Anteil der Bindephase wieder.

3.2 Hartmetall ist ein Verbundwerkstoff aus Wolframkarbid (WC)

als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase, der durch ein pulvermetallurgisches Verfahren hergestellt wird.

3.3 Die η -Phase (Eta-Phase)

ist eine spröde Phase, die sich aufgrund unzureichenden Kohlenstoffgehalts in Hartmetall bildet. Ihre chemische Formel lautet $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$, was die Bestimmung des Kobaltgehalts beeinträchtigen kann.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.4 Freier Kohlenstoff Der

aufgrund eines zu hohen Kohlenstoffgehalts aus Hartmetall ausgeschiedene Kohlenstoff kann die Analyseergebnisse beeinflussen.

3.5 Die potentiometrische Titration ist

eine Titrationsmethode, bei der Elektroden verwendet werden, um die Änderung des Lösungspotenzials zu messen und so den Endpunkt zu bestimmen.

4 Grundsatz

Das Prinzip der Kobaltgehaltsbestimmung in Hartmetall basiert auf chemischer Zersetzung und quantitativer Analyse. Die Probe wird durch Säure oder Schmelze zersetzt, um Kobalt in eine lösliche Verbindung (z. B. Kobaltchlorid) umzuwandeln. Anschließend wird der Kobaltgehalt mittels gravimetrischer Methode, potentiometrischer Titration oder spektroskopischer Analyse bestimmt. Die potentiometrische Titration nutzt den stabilen Komplex aus Kobalt und EDTA (Ethyldiamintetraessigsäure), um den Endpunkt anhand der Potentialänderung zu bestimmen. Die spektroskopische Analyse (z. B. Atomabsorptionsspektroskopie oder induktiv gekoppelte Plasmaemissionsspektroskopie) basiert zur Quantifizierung auf dem charakteristischen Absorptions- oder Emissionsspektrum von Kobalt. η -Phase oder freier Kohlenstoff können die Bestimmung beeinträchtigen und müssen durch Vorbehandlung entfernt werden.

5. Instrumente und Ausrüstung

5.1 Analysenwaage

mit einer Genauigkeit von $\pm 0,0001$ g zum Wiegen von Proben und Reagenzien.

5.2 Potentiometrischer Titrator,

ausgestattet mit Glaselektrode und Referenzelektrode, mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ mV, geeignet für potentiometrische Titration.

Zur Bestimmung des Kobaltgehalts wurde ein **Atomabsorptionsspektrometer (AAS) mit einer Wellenlänge von 240,7 nm und einer Nachweisgrenze von 0,01 $\mu\text{g/ml}$ verwendet.**

5.4 Die Nachweisgrenze des optischen Emissionsspektrometers mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)

beträgt 0,001 $\mu\text{g/ml}$ und ist für die Analyse mehrerer Elemente geeignet.

5.5 Der Temperaturregelbereich des Wasserbads mit konstanter Temperatur beträgt 20–100 °C mit einer Genauigkeit von ± 1 °C.

Zur Probenzersetzung wird eine **Heizplatte oder ein Elektroofen mit einem Temperaturbereich von 100-600°C verwendet.**

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.7 Säuredestillationsanlagen

werden zur Entfernung störender Elemente (wie Arsen und Antimon) eingesetzt.

5.8 Die Kapazitäten der Pipetten und Messkolben

betragen 5 ml, 10 ml, 25 ml und 100 ml bei einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ ml.

6 Reagenzien

6.1 Salpetersäure (HNO_3) von

hoher Reinheit, Konzentration 65 % - 68 %.

6.2 Salzsäure (HCl)

von hoher Reinheit, Konzentration 36 %–38 %.

6.3 Schwefelsäure (H_2SO_4) ist

mit einer Konzentration von 95–98 % von hoher Reinheit.

der 6.4 EDTA-Standardlösung

beträgt 0,01 mol/l, nach Kalibrierung verwenden.

6.5 Pufferlösung

pH 5,0–6,0, enthält Ammoniumacetat und Ammoniak.

6.6 Indikatoren

wie Xylenorange werden verwendet, um den Endpunkt der Titration zu bestimmen.

6.7 Deionisiertes Wasser

entspricht dem Wasserstandard GB/T 6682 Klasse 1.

7 Exemplare

7.1 Probenanforderungen

Form: Die Probe ist Pulver, Granulat oder kleine Stücke mit einer Masse von 0,2–0,5 g.

Homogenität: Zusammensetzungsabweichung $< 0,1$ Gew.-%, Korngrößenschwankung < 5 %.

Oberflächenbeschaffenheit: Keine Öl- oder Oxidschicht, ggf. mit Ethanol reinigen.

7.2 Probenvorbereitung

Entnehmen Sie eine repräsentative Probe aus dem Hartmetallrohling oder Fertigprodukt und zerkleinern Sie diese auf eine Partikelgröße von $< 0,1$ mm.

Nachdem die Probe in einem Exsikkator bei konstanter Temperatur (105 °C, 1 h) aufbewahrt wurde,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

wurde sie auf Raumtemperatur abgekühlt und gewogen ($\pm 0,0001$ g).

Um repräsentative Ergebnisse sicherzustellen, entnehmen Sie 3–5 parallele Proben aus jeder Charge.

8 Prüfmethoden

8.1 Potentiometrische Titration

8.1.1 Probenzerlegung

Wiegen Sie 0,2 g der Probe ab und geben Sie diese in ein 250-ml-Becherglas.

10 ml Salpetersäure und 5 ml Schwefelsäure hinzufügen, erhitzen, bis die Lösung fast trocken ist, und abkühlen lassen.

20 ml Salzsäure hinzufügen, erhitzen, um den Rückstand aufzulösen, dann abkühlen und auf 100 ml verdünnen.

8.1.2 Titrationsschritte

Nehmen Sie 10 ml der Lösung, geben Sie Pufferlösung (pH 5,5) und Luteolin-Indikator hinzu.

Titrieren Sie mit einer 0,01 mol/l EDTA-Standardlösung und zeichnen Sie die potenzielle Änderung bis zum Endpunkt auf.

Berechnungsformel:

$$\text{钨含量 (wt\%)} = \frac{C \times V \times M \times 58,93 \times 100}{m \times 1000}$$

8.1.3 Blindversuch

Führen Sie nach den gleichen Schritten einen Blindversuch durch und ziehen Sie den Blindwert ab.

8.2 Atomabsorptionsspektroskopie (AAS)

8.2.1 Probenzerlegung

Wiegen Sie 0,1 g der Probe ab, geben Sie 5 ml Salpetersäure und 2 ml Salzsäure hinzu und erhitzen Sie alles, bis es sich auflöst.

Nach dem Abkühlen wurde das Volumen auf 50 ml eingestellt und durch eine 0,45 µm-Filtermembran gefiltert.

8.2.2 Messschritte

Stellen Sie die Wellenlänge des Instruments auf 240,7 nm ein und starten Sie den Vorgang.

Die Kobaltkonzentration wurde mithilfe einer Standardreihenmethode im Bereich von 0,1–10 µg/ml bestimmt.

Berechnungsformel:

$$\text{钨含量 (wt\%)} = \frac{C \times V \times 100}{m \times 1000}$$

8.2.3 Störbeseitigung

Bei Störungen durch Eisen oder Nickel fügen Sie ein Entstörmittel (z. B. Lanthansalz) hinzu.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.3 Optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)

8.3.1 Probenzerlegung

Wiegen Sie 0,1 g der Probe ab, geben Sie 5 ml Salpetersäure und 1 ml Wasserstoffperoxid hinzu und verdauen Sie die Probe in der Mikrowelle.

Nach dem Abkühlen auf 50 ml verdünnen und zur späteren Verwendung filtrieren.

8.3.2 Messschritte

Stellen Sie die Wellenlänge auf 228,616 nm ein und kalibrieren Sie das Instrument.

Die Kobaltkonzentration wurde mit der Standardkurvenmethode mit einer Nachweisgrenze von 0,001 µg/ml bestimmt.

Die Berechnungsformel ist die gleiche wie 8.2.2.

8.3.3 Störbeseitigung

Wenn Wolframstörungen vorliegen, passen Sie die Hintergrundkorrekturparameter an.

9 Ergebnisausdruck

Der Kobaltgehalt wird in Gewichtsprozent mit 2 Dezimalstellen angegeben (z. B. 6,25 %).

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

a) Standardnummer: GB/T 3848; b) Probenbeschreibung: Marke, Charge, Qualität; c) Prüfmethode: potentiometrische Titration, AAS oder ICP-OES; d) Ergebnis: Kobaltgehalt und Abweichung; e) Prüfbedingungen: Temperatur, Feuchtigkeit; f) Instrumentenmodell und Kalibrierungsstatus; g) Prüfdatum: beispielsweise 21. Mai 2025; h) Prüfer: Unterschrift.

10 Präzision und Bias

10.1 Präzision

Wiederholbarkeit: Die Abweichung des Kobaltgehalts, gemessen vom gleichen Bediener, mit der gleichen Ausrüstung und innerhalb eines kurzen Zeitraums, beträgt <0,2 %.

Reproduzierbarkeit: Die Abweichung des von verschiedenen Laboren und verschiedenen Bedienern gemessenen Kobaltgehalts beträgt <0,5 %.

10.2 Verzerrung

Gerätefehler: AAS $\pm 0,01$ µg/ml, ICP-OES $\pm 0,001$ µg/ml.

Probeninhomogenität: Zusammensetzungsabweichungen >0,1 Gew.-% führen zu Ergebnisschwankungen von 0,3-0,5 %.

Störelemente: Die Abweichung kann 1–2 % erreichen, wenn die η -Phase oder der freie Kohlenstoff nicht entfernt wird.

11 Einflussfaktoren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11.1 Eine unvollständige Zersetzung der Probe (z. B. Wolframrückstände) kann zu einer Unterschätzung des Kobaltgehalts um 0,5–1 % führen.

11.2 Störelemente

Eisen (> 5 %) und Nickel (> 2 %) können die AAS-Bestimmung beeinträchtigen und erfordern eine Vortrennung.

11.3

Zu hohe Säurekonzentration Durch Säuregehalt ($\text{pH} < 2$) verschiebt sich der Endpunkt der EDTA-Titration um 0,1 – 0,3 %.

11.4 Umgebungsbedingungen

Hohe Temperaturen (> 40 °C) oder Luftfeuchtigkeit (> 70 %) führen zur Verdunstung der Lösung mit einer Abweichung von < 0,2 %.

12 Anwendung der Prüfergebnisse

12.1 Qualitätskontrolle:

Überprüfen Sie, ob der Kobaltgehalt den Konstruktionsanforderungen entspricht, beispielsweise dem YG6-Ziel von $6 \pm 0,2$ %.

12.2 Prozessoptimierung

Ein niedriger Kobaltgehalt deutet auf unzureichende Inhaltsstoffe hin, während ein hoher Kobaltgehalt auf einen Überschuss an Bindephase hinweist.

12.3 Vorhersage von Eigenschaften

Ein Kobaltgehalt von 6-10 % entspricht einer hohen Härte (HRA 90-92), 10-15 % entsprechen einer hohen Zähigkeit ($\text{KIC } 12-15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$).

12.4 Beispiel

Bei der Herstellung von Schneidwerkzeugen gewährleistet YG8 mit einem Kobaltgehalt von 8,1 % eine Härte von HRA 91 und eine Lebensdauer von >3 Stunden.

13 Hinweise

13.1 Das Instrument muss

mit einer Standardkobaltprobe mit einem Fehler von $\leq \pm 0,1$ % kalibriert werden.

13.2 Homogenität der Proben

Stellen Sie sicher, dass die Proben keine Risse und Poren aufweisen und eine einheitliche Zusammensetzung haben.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

13.3 Die Temperatur im Prüfraum wird auf 20–25 °C geregelt und die Luftfeuchtigkeit liegt unter 60 %.

13.4 Sicherheitsschutz

Tragen Sie während des Betriebs eine Schutzbrille, um Säurespritzer zu vermeiden.

14 Anhang (Informativer Anhang)

Anhang A Typische Kobaltgehaltswerte

Tabelle A.1 Kobaltgehalt gängiger Hartmetallsorten

Marke	Kobaltgehalt (Gew.-%)	Härte (HRA)	Zähigkeit (KIC, MPa·m ^{1/2})
YG6	6,0 ± 0,2	90-91	10-12
YG8	8,0 ± 0,2	89-90	12-14
YG10	10,0 ± 0,3	88-89	14-16

Anhang B Fehleranalyse

B.1 Gerätefehler:

AAS ±0,01 µg/ml, ICP-OES ±0,001 µg/ml.

B.2 Betriebsfehler

Die Abweichung der Titrationsendpunktbeurteilung beträgt 0,1–0,2 %.

B.3 Umwelteinfluss

Luftfeuchtigkeit >70% bewirkt eine Abweichung von 0,2% im Ergebnis.

Anhang C Verbesserungsvorschläge

C.1 Verwenden Sie Mikrowellenaufschluss, um die Zersetzungseffizienz zu verbessern und Wolframrückstände zu reduzieren.

C.2 Verwenden Sie ICP-MS, um die Nachweisempfindlichkeit mit einer Nachweisgrenze von <0,0001 µg/ml zu verbessern. C.3 Führen Sie ein automatisiertes Titrationssystem ein, um menschliche Fehler zu reduzieren.

Anhang D Testdatenbeispiele

Tabelle D.1 Testdaten des Kobaltgehalts in YG8-Hartmetall

Probenr.	Masse (g)	Kobaltgehalt (Gew.-%)	Durchschnittswert (Gew.-%)	Abweichung(%)
YG8-001	0,201	8.05, 8.10	8.08	0,37
YG8-002	0,203	8.00, 8.03	8.02	0,25
YG8-003	0,202	8.12, 8.09	8.11	0,37

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 E Einfluss von Störelementen

Tabelle E.1 Auswirkungen verschiedener Störelemente auf die Bestimmung des Kobaltgehalts

干扰元素	含量 (wt%)	偏差 (wt%)	消除方法
铁	5	0.5	加入钨盐
镍	2	0.3	预分离
钨	10	1.0	微波消解



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



www.chinatungsten.com



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

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



ISO 3909:1976

Bestimmung des Kobaltgehalts in Hartmetall - potentiometrische Methode

1 Geltungsbereich

Diese internationale Norm legt ein Verfahren zur potentiometrischen Bestimmung des Kobaltgehalts (Co) in Hartmetall fest. Das Verfahren ist anwendbar auf Hartmetall- und Bindemetallpulvermischungen ohne Schmiermittel, vorgesintertes oder gesintertes Hartmetall aller Güteklassen mit einem Kobaltgehalt über 1 % (Massenanteil, m/m). Das Verfahren kann zur Qualitätskontrolle in der Hartmetallproduktion, zur Produktabnahme und zur Zusammensetzungsanalyse in Forschung und Entwicklung eingesetzt werden.

Diese Norm gilt nicht für Hartmetalle mit einem Kobaltgehalt von weniger als 1 % oder für Materialien, die erhebliche Störelemente enthalten (z. B. hohe Eisen- und Nickelgehalte).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Norm von wesentlicher Bedeutung. Bei datierten Dokumenten gilt ausschließlich die datierte Fassung für diese Norm. Bei undatierten Dokumenten gilt die jeweils neueste Fassung (einschließlich aller Änderungen) für diese Norm. ISO 5725 Präzisionsprüfverfahren (Genauigkeit und Präzision) und Auswertung der Ergebnisse ISO 11873 Hartmetall – Terminologie

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

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

3.1 Kobaltgehalt:

Der Gewichtsanteil von Kobalt im Hartmetall (m/m), bezogen auf die Gesamtmasse, gibt den Anteil der Bindephase wieder.

3.2 Hartmetall ist ein Verbundwerkstoff aus Wolframkarbid (WC)

als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase, der durch ein pulvermetallurgisches Verfahren hergestellt wird.

3.3 Die η -Phase (Eta-Phase)

ist eine spröde Phase, die sich aufgrund unzureichenden Kohlenstoffgehalts in Hartmetall bildet. Ihre chemische Formel lautet $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$, was die Bestimmung des Kobaltgehalts beeinträchtigen kann.

3.4 Freier Kohlenstoff:

Aus Hartmetall aufgrund eines zu hohen Kohlenstoffgehalts ausgeschiedener Kohlenstoff kann die Analyseergebnisse beeinträchtigen.

3.5 Die potentiometrische Titration ist

eine Methode zur Bestimmung des Titrationsendpunkts durch Messung der Änderung des Lösungspotenzials.

4 Grundsatz

Bei dieser Methode wird das Kobalt in der Hartmetallprobe durch Säurezersetzung in eine lösliche Verbindung (z. B. Kobaltchlorid) aufgelöst und anschließend der Kobaltgehalt durch potentiometrische Titration bestimmt. Nach der Säurezersetzung der Probe bilden die Kobaltionen (Co^{2+}) in der Lösung einen stabilen Komplex mit Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA). Der Endpunkt wird durch potentiometrische Titration bestimmt. Bei der potentiometrischen Titration werden Elektroden (meist Glaselektroden und Referenzelektroden) verwendet, um den plötzlichen Potentialsprung der Lösung zu überwachen und den Endpunkt zu bestimmen. Die η -Phase oder freier Kohlenstoff können die Bestimmung beeinträchtigen und müssen durch eine Vorbehandlung (z. B. Säuredestillation oder Filtration) entfernt werden.

5 Störelemente

5.1 Eisen (Fe)

Wenn der Eisengehalt $>5\%$ (m/m) beträgt, kann es einen Komplex mit EDTA bilden, der die Titration von Kobalt stört und durch eine Vortrennung (z. B. Ionenaustausch) entfernt werden muss.

5.2 Nickel (Ni)

Wenn der Nickelgehalt $>2\%$ (m/m) ist, kann er den Endpunkt der potentiometrischen Titration beeinflussen und muss durch Vorabtrennung oder Zugabe eines Maskierungsmittels (z. B. Ammoniakwasser) eliminiert werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 Wolfram (W)

Wolfram kann Niederschläge (wie Wolframsäure) bilden, die die Klärung der Lösung beeinträchtigen und durch gründliches Auflösen und Filtrieren entfernt werden müssen.

5.4 η -Phase und freier Kohlenstoff

Die η -Phase kann zu einer Unterschätzung des Kobaltgehalts führen, und freier Kohlenstoff kann Kobaltionen adsorbieren und muss durch Vorsintern oder Säuredestillation behandelt werden.

6 Reagenzien

6.1 Salpetersäure (HNO_3) analysenrein

, Konzentration 65–68 %.

6.2 Salzsäure (HCl)

in Analysequalität, Konzentration 36–38 %.

6.3 Schwefelsäure (H_2SO_4) in

Analysequalität, Konzentration 95–98 %.

6.4 Die Konzentration der EDTA-Standardlösung

beträgt 0,01 mol/l und sollte vor der Verwendung mit einer Zink-Standardlösung kalibriert werden.

6.5 Pufferlösung

pH 5,0–6,0, enthält Ammoniumacetat und Ammoniak.

6.6 Indikator (Hilfsindikator)

Xylenolorange, wird zur Beobachtung des Titrationsendpunkts verwendet (optional).

6.7 Spezifischer Widerstand von deionisiertem Wasser $\geq 18 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$.

7 Instrumente und Ausrüstung

7.1 Zum Wiegen von Proben und Reagenzien wird eine Analysenwaage

mit einer Genauigkeit von $\pm 0,0001 \text{ g}$ verwendet.

7.2 Der potentiometrische Titrator

ist mit einer Glaselektrode und einer Referenzelektrode (z. B. einer Ag/AgCl-Elektrode) mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1 \text{ mV}$ ausgestattet.

7.3 Für die Probenzersetzung wird eine Heizplatte oder ein Elektroofen

mit einem Temperaturbereich von 100–600 °C verwendet.

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

7.4 Der Temperaturregelbereich **des Wasserbads mit konstanter Temperatur** beträgt 20–100 °C mit einer Genauigkeit von ± 1 °C.

7.5 Säuredestillationsgeräte

werden zum Entfernen störender Elemente (wie Arsen und Antimon) verwendet.

7.6 Die Kapazitäten der **Pipetten und Messkolben**

betragen 5 ml, 10 ml, 25 ml und 100 ml bei einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ ml.

7.7 Filtergerät

mit 0,45 μm Filtermembran zur Lösungsfiltration.

8. Proben

8.1 Probenanforderungen

Form: Die Probe ist Pulver, Granulat oder kleine Stücke mit einer Masse von 0,2–0,5 g.

Homogenität: Zusammensetzungsabweichung $< 0,1$ % (m/m), Korngrößenschwankung < 5 %.

Oberflächenbeschaffenheit: Keine Öl- oder Oxidschicht, ggf. mit Ethanol reinigen.

8.2 Probenvorbereitung

Entnehmen Sie eine repräsentative Probe aus dem Hartmetallrohling oder Fertigprodukt und zerkleinern Sie diese auf eine Partikelgröße von $< 0,1$ mm.

1 Stunde bei 105 °C trocknen, auf Raumtemperatur abkühlen lassen und wiegen ($\pm 0,0001$ g).

Um repräsentative Ergebnisse sicherzustellen, entnehmen Sie 3–5 parallele Proben aus jeder Charge.

9 Prüfschritte

9.1 Probenzerlegung

Wiegen Sie 0,2 g der Probe ($\pm 0,0001$ g) ab und geben Sie sie in ein 250-ml-Becherglas.

10 ml Salpetersäure und 5 ml Schwefelsäure hinzufügen, auf einer Heizplatte (200–250 °C) erhitzen, bis die Lösung fast trocken ist, und abkühlen lassen.

20 ml Salzsäure zugeben und weiter erhitzen (150 °C), bis der Rückstand vollständig aufgelöst ist, dann abkühlen lassen.

Mit deionisiertem Wasser auf 100 ml verdünnen, filtern (0,45 μm Filtermembran) und beiseite stellen.

9.2 Potentiometrische Titration

Nehmen Sie 10 ml der Testlösung, geben Sie sie in einen 100-ml-Titrierbecher und fügen Sie Pufferlösung (pH 5,5) hinzu.

Geben Sie 2–3 Tropfen Luteolinindikator hinzu (optional) und beobachten Sie die Farbänderung.

Überwachen Sie das Potenzial mit einem potentiometrischen Titrator, geben Sie eine 0,01 mol/l EDTA-Standardlösung hinzu und notieren Sie den Potenzialsprungpunkt (Endpunkt).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Jede Probe wurde dreimal gemessen und der Durchschnittswert berechnet.

9.3 Blindversuch

Führen Sie nach dem gleichen Verfahren einen Blindversuch durch und ziehen Sie den Blindwert ab (üblicherweise <0,05 % Kobaltgehalt).

9.4 Berechnung

Der Kobaltgehalt wird wie folgt berechnet:

$$\text{钴含量 (\%)} = \frac{C \times V \times M \times 100}{m \times 1000}$$

In:

- C : EDTA 标准溶液浓度 (mol/L);
- V : 消耗 EDTA 体积 (mL);
- M : 钴摩尔质量 (58,93 g/mol);
- m : 试样质量 (g)。

10. Ergebnisausdruck

Der Kobaltgehalt wird als Massenanteil (%) mit 2 Dezimalstellen ausgedrückt (z. B. 6,25 %).

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

- a) Normnummer: ISO 3909:1976; b) Probenbeschreibung: Marke, Charge, Qualität; c) Prüfbedingungen: Temperatur, Feuchtigkeit; d) Instrumentenmodell und Kalibrierungsstatus; e) Ergebnisse: Kobaltgehalt und Abweichung; f) Prüfdatum: beispielsweise 21. Mai 2025; g) Prüfer: Unterschrift.

11 Präzision und Bias

11.1 Präzision

Wiederholbarkeit: Die Abweichung des Kobaltgehalts, gemessen vom gleichen Bediener, mit der gleichen Ausrüstung und innerhalb eines kurzen Zeitraums, beträgt <0,2 %.

Reproduzierbarkeit: Die Abweichung des von verschiedenen Laboren und verschiedenen Bedienern gemessenen Kobaltgehalts beträgt <0,5 %.

11.2 Verzerrung

Gerätefehler: potentiometrischer Titrator $\pm 0,1$ mV.

Probeninhomogenität: Zusammensetzungsabweichungen > 0,1 % (m/m) führen zu Ergebnisschwankungen von 0,3–0,5 %.

Störelemente: Die Abweichung kann 1–2 % erreichen, wenn die η -Phase oder der freie Kohlenstoff nicht entfernt wird.

12 Einflussfaktoren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

12.1 Eine unvollständige Zersetzung **der Probe (z. B. Wolframrückstände) kann zu einer Unterschätzung**

des Kobaltgehalts um 0,5–1 % führen.

12.2 **Störelemente wie** Eisen (>5 %) und Nickel (>2 %) können die Titration beeinträchtigen und erfordern eine Vorabtrennung.

12.3 Säurekonzentration

Ein zu hoher Säuregehalt ($\text{pH} < 2$) führt zu einer Verschiebung des EDTA-Titrationsendpunkts um 0,1 – 0,3 %.

12.4 Umgebungsbedingungen

Hohe Temperaturen ($> 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) oder Luftfeuchtigkeit ($> 70\%$) führen zur Verdunstung der Lösung mit einer Abweichung von $< 0,2\%$.

13 Anwendung der Prüfergebnisse

13.1 Die Qualitätskontrolle

überprüft, ob der Kobaltgehalt den Konstruktionsanforderungen entspricht, beispielsweise dem YG6-Zielwert von $6 \pm 0,2\%$.

13.2 Prozessoptimierung

Ein niedriger Kobaltgehalt deutet auf unzureichende Inhaltsstoffe hin, während ein hoher Kobaltgehalt auf einen Überschuss an Bindephase hinweist.

13.3 Vorhersage von Eigenschaften

Ein Kobaltgehalt von 6-10 % entspricht einer hohen Härte (HRA 90-92), 10-15 % entsprechen einer hohen Zähigkeit ($\text{KIC } 12\text{--}15\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).

13.4 Beispiel

Bei der Herstellung von Bergbaubohrern gewährleistet YG8 mit einem Kobaltgehalt von 8,05 % eine Härte von HRA 90 und eine Lebensdauer von > 200 Stunden.

14 Hinweise

14.1 Das Instrument muss

mit einer Standardkobaltlösung mit einem Fehler von $\leq \pm 0,1\%$ kalibriert werden.

14.2 Homogenität der Proben

Stellen Sie sicher, dass die Proben keine Risse und Poren aufweisen und eine einheitliche Zusammensetzung haben.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14.3 Die Temperatur im Prüfraum wird auf 20–25 °C geregelt und die Luftfeuchtigkeit liegt unter 60 %.

14.4 Sicherheitsschutz

Tragen Sie während des Betriebs eine Schutzbrille, um Säurespritzer zu vermeiden.

15 Anhang (Informativer Anhang)

Anhang A Typische Kobaltgehaltswerte

Tabelle A.1 Kobaltgehalt gängiger Hartmetallsorten

Marke	Kobaltgehalt (% m/m)	Härte (HRA)	Zähigkeit (KIC, MPa·m ^{1/2})
YG6	6,0 ± 0,2	90-91	10-12
YG8	8,0 ± 0,2	89-90	12-14
YG10	10,0 ± 0,3	88-89	14-16

Anhang B Fehleranalyse

B.1 Gerätefehler

Potentiometrischer Titrator ±0,1 mV.

B.2 Betriebsfehler

Die Abweichung der Titrationsendpunktbeurteilung beträgt 0,1–0,2 %.

B.3 Umwelteinwirkung

Eine Luftfeuchtigkeit von > 70 % führt zu einer Abweichung der Ergebnisse von 0,2 %.

Anhang C Verbesserungsvorschläge

C.1 Verwenden Sie Mikrowellenaufschluss, um die Zersetzungseffizienz zu verbessern und Wolframrückstände zu reduzieren.

C.2 Führen Sie ein automatisiertes Titrationssystem ein, um menschliche Fehler zu reduzieren. C.3 Verwenden Sie ICP-MS anstelle der potentiometrischen Methode mit einer Nachweisgrenze von <0,0001 µg/ml.

Anhang D Testdatenbeispiele

Tabelle D.1 Testdaten des Kobaltgehalts in YG8-Hartmetall

Probenr.	Masse (g)	Kobaltgehalt (% m/m)	Durchschnittswert (% m/m)	Abweichung(%)
YG8-001	0,201	8.05, 8.10	8.08	0,37
YG8-002	0,203	8.00, 8.03	8.02	0,25
YG8-003	0,202	8.12, 8.09	8.11	0,37

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 E Einfluss von Störelementen

Tabelle E.1 Auswirkungen verschiedener Störelemente auf die Bestimmung des Kobaltgehalts

Störelemente	Gehalt (% m/m)	Abweichung (% m/m)	Eliminationsmethode
Eisen	5	0,5	Lanthansalz hinzufügen
Nickel	2	0,3	Vorabscheidung
Wolfram	10	1.0	Mikrowellenaufschluss

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 :

Methoden zur Angabe der Härte von Hartmetall und ihre Umrechnungsbeziehung

Hartmetall (Hartmetall) wird aufgrund seiner hohen Härte und Verschleißfestigkeit häufig in der Industrie, beispielsweise für Schneidwerkzeuge und Formen, eingesetzt. Die Härte ist ein wichtiger Leistungsindikator. Die Härteangabe für Hartmetall basiert hauptsächlich auf verschiedenen Prüfnormen und Einheiten. Üblich sind Vickershärte (HV), Rockwellhärte (HRA, HRC) und Knoop-Härte (HK). Die genaue Wahl hängt von den Prüfbedingungen und Branchenpraktiken ab. Dieser Artikel stellt die Härteangabe, das Prüfprinzip, die Anwendungsszenarien und die Umrechnungsbeziehung von Hartmetall detailliert vor und kombiniert Daten und Normen (wie ISO, ASTM, GB/T), um Genauigkeit und Vollständigkeit zu gewährleisten.

Methode zur Angabe der Härte von Hartmetall

Die Härteprüfung von Hartmetall wird aufgrund seiner hohen Härte und der Verbundwerkstoffeigenschaften (wie Wolframkarbid WC und Kobalt Co-Bindephase) üblicherweise mit den folgenden Methoden durchgeführt:

1. Vickershärte (HV)

Definition: Eine bestimmte Last (z. B. 10 kgf, 30 kgf) wird durch einen viereckigen Diamantpyramideneindringkörper (Diagonalwinkel 136°) auf die Materialoberfläche ausgeübt, um die diagonale Länge des Eindrucks zu messen und den Härtewert zu berechnen.

Formel :

$$HV = \frac{1.8544 \cdot F}{d^2}$$

Dabei ist F die Last (kgf) und d die durchschnittliche diagonale Länge der Vertiefung (mm).

Einheit : HV (z. B. bedeutet HV10 10 kgf Last).

Anwendbare Szenarien :

Standardtest für Hartmetall, weit verbreitet in ISO 3878, GB/T 7997 (Vickers-Härteprüfung von Hartmetall).

Geeignet für Materialien mit hoher Härte (Härtebereich von Hartmetall 1400–2200 HV) und hoher Präzision.

Dabei kommen unterschiedliche Körnungen (z. B. Ultrafeinkörner < 0,5 µm, Mittelkörner 12 µm) zum Einsatz.

Typische Werte :

YG6 (6 % Kobalt): ~1500/1600 HV30.

YG8 (8 % Kobalt): ~1400/1500 HV30.

Ultrafeinkörniges Hartmetall: ~1800/2200 HV30 (ScienceDirect, 2020).

Vorteil :

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

Anwendbar für einen breiten Härtebereich (503000 HV).

Kleine Vertiefung, geeignet für dünne und kleine Proben, hohe Präzision.

Nachteile : lange Testzeit (zur Eindruckmessung ist ein Mikroskop erforderlich) und hohe Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit.

2. Rockwell-Härte (HRA)

Definition : Verwenden Sie einen Diamantkegel-Eindringkörper (Scheitelwinkel 120°, Spitzenradius 0,2 mm), wenden Sie eine Gesamtlast von 60 kgf an (Vorlast 10 kgf, Hauptlast 50 kgf), messen Sie den Unterschied in der Eindringtiefe und berechnen Sie die Härte.

Formel :

$$HRA = 100 - \frac{h}{0.002}$$

Wobei h die Eindringtiefe (mm) ist.

Einheit : HRA.

Anwendbare Szenarien :

Schnellprüfung von Hartmetallwerkzeugen und -matrizen gemäß ISO 3738 und GB/T 230.1.

Geeignet für Hartmetall mit höherer Härte (HRA 8092), das häufig in Industrieanlagen verwendet wird.

Typische Werte :

YG6: ~8990 HRA.

YG8: ~8889 HRA.

Ultrafeinkörniges Hartmetall: ~9092 HRA (Sandvik, 2023).

Vorteil :

Der Test ist schnell und die Anzeige direkt, geeignet für Batchtests.

Es stellt geringe Anforderungen an die Oberfläche und ist einfach zu bedienen.

Mangel :

Weniger genau als die Vickers-Härte und nur für höhere Härtebereiche (HRA > 70) geeignet.

Nicht geeignet für ultradünne oder winzige Proben.

3. Rockwellhärte (HRC, Zweitverwendung)

Definition : Verwenden Sie einen Diamantkegel-Eindringkörper (wie HRA) mit einer Gesamtlast von 150 kgf, um die Eindringtiefe zu messen.

Anwendbare Szenarien :

Wird für weichere Hartmetallsorten (z. B. hoher Kobaltgehalt > 15 %) oder im Vergleich zu Schnellarbeitsstahl verwendet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bei Hartmetall wird es weniger verwendet, da der HRC-Bereich (2070) die hohe Härte von Hartmetall nicht vollständig abdeckt (ScienceDirect, 2020).

Typische Werte :

YG15 (15 % Kobalt): ~6567 HRC.

Vorteile : Häufig verwendete Härte im Vergleich zu Werkzeugstahl und Matrizenstahl.

Nachteile : Hohe Belastung, große Einkerbung, nicht für herkömmliche Hartmetallprüfungen geeignet.

4. Knoop-Härte (HK)

Definition : Verwenden Sie einen Diamant-Rhombus-Eindringkörper (Verhältnis Haupt- zu Nebenachse 7:1, Winkel 172,5° und 130°), wenden Sie eine leichte Last an (z. B. 0,51 kgf) und messen Sie die lange diagonale Länge des Eindrucks.

Formel :

$$HK = \frac{14.229 \cdot F}{d^2}$$

Dabei ist F die Last (kgf) und d die diagonale Länge der Vertiefung (mm).

Einheit : HK.

Anwendbare Szenarien :

Prüfung von dünnen Schichten, Beschichtungen oder ultrafeinen Kornstrukturen aus Hartmetall gemäß ASTM E384.

Geeignet für die Analyse der Härte kleiner Bereiche oder Oberflächen (z. B. Hartmetallbeschichtungen).

Typische Werte :

YG6:~16001700 HK0.5.

Ultrafeinkörniges Hartmetall: ~20002300 HK0,5.

Vorteil :

Flache Vertiefung, geeignet für dünne Proben oder Beschichtungen.

Hohe Auflösung, geeignet für Mikrohärteprüfungen.

Manko :

Der Test ist aufwendig und erfordert ein hochpräzises Mikroskop.

Geringe Belastung, anfällig für Oberflächenfehler.

5. Andere Darstellungsmethoden (weniger häufig verwendet)

Brinellhärte (HB) : Verwenden Sie einen Hartmetall-Kugleindringkörper mit einer Belastung von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3000 kgf, geeignet für Hartmetall mit geringer Härte (selten, da der Eindruck zu groß ist).

Shore-Härte (HS) : Schlaghärte test, wird aufgrund seiner geringen Genauigkeit selten für Hartmetall verwendet.

Mohshärte : Hartmetall hat einen Wert von etwa 8,59 (nahe an Korund), der nur für wissenschaftliche Vergleiche verwendet wird und nicht genau ist.

Datenunterstützung :

Hartmetallhärtebereich: 1400–2200 HV, 8092 HRA (ISO 3878, GB/T 7997).

Typische Sorten: YG8 (1400–1500 HV, 8889 HRA), Ultrafeinkörnung (1800–2200 HV, 9092 HRA) (Sandvik, 2023).

Umrechnungsbeziehung der Härteeinheit

Bei der Härteprüfung von Hartmetall werden verschiedene Einheiten (HV, HRA, HRC, HK) verwendet, die gemäß der Standardumrechnungstabelle oder der empirischen Formel umgerechnet werden müssen. Im Folgenden sind die Umrechnungsbeziehungen und Vorsichtsmaßnahmen aufgeführt:

1. Gemeinsame Umrechnungstabellen

Nachfolgend finden Sie eine ungefähre Umrechnung gängiger Härtewerte von Hartmetall, basierend auf ASTM E140 (Härteumrechnungstabelle), GB/T 1172 (Härteumrechnungsspezifikation) und Branchendaten:

HV	HRA	HRC	HK	Bemerkung
1200	85,0	~60	~1250	Hartmetall mit niedrigem Kobaltgehalt (wie YG15)
1400	87,0	~63	~1450	Allgemeines Hartmetall (wie YG8)
1500	88,0	~65	~1550	Allgemeines Hartmetall (wie YG6)
1600	89,0	~66	~1650	Mittelfeinkörniges Hartmetall
1800	90,5	~68	~1850	Ultrafeinkörniges Hartmetall
2000	91,5	~70	~2050	Hartmetall mit hoher Härte
2200	92,0	~72	~2250	Hartmetall mit extremer Härte

Datenquelle :

ASTM E14012b(2023): Härte-Umrechnungstabelle.

GB/T 11721999: Chinesischer Härteumrechnungsstandard.

Branchenpraxis: Sandvik, Kennametal-Hartmetallhärte Daten (Sandvik, 2023).

2. Umrechnungsformel (empirische Formel)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Eine genaue Umrechnung erfordert die Berücksichtigung der Materialeigenschaften. Für Hartmetall gibt es aufgrund seiner Verbundstruktur (WC+Co) keine einheitliche Formel. Die folgende empirische Formel dient als Referenz:

HV und HRA :

$$HRA \approx 100 - \frac{4000}{HV}$$

Beispiel: HV=1500, HRA $\approx 100 - 4000/1500 \approx 87,3$.

HV und HRC (hoher Härtebereich von Hartmetall):

$$HRC \approx 0.035 \cdot HV + 12$$

Beispiel: HV=1500, HRC $\approx 0,035 \times 1500 + 12 \approx 64,5$.

HV und HK :

$$HK \approx HV \cdot (1.05 \text{ 至 } 1.10)$$

Beispiel: HV=1500, HK $\approx 1500 \times 1,07 \approx 1605$.

Beachten :

Bei der Umrechnungsformel handelt es sich um einen Näherungswert mit einem Fehler von $\pm 25\%$ aufgrund unterschiedlicher Korngrößen und Kobaltgehalte des Hartmetalls.

Im hohen Härtebereich (HV > 1500) ist der HRC-Umrechnungsfehler groß, daher wird empfohlen, HRA oder HV direkt zu messen.

3. Überlegungen zur Konvertierung

Wesentlicher Unterschied

Die Härte von Hartmetall wird durch den Kobaltgehalt (5–15 %) und die Korngröße (0,52 μm) beeinflusst. Die Umrechnung muss sich auf die jeweilige Güteklasse (z. B. YG6, YG8) beziehen.

Testbedingungen :

HV: Die Last (1030 kgf) beeinflusst das Ergebnis und muss angegeben werden (z. B. HV30).

HRA: Geeignet für Hartmetall, HRC ist auf niedrige Härtegrade beschränkt.

HK: Geringe Belastung (0,5 kgf), geeignet für Mikrotests.

Standardreferenz : Verwenden Sie die Umrechnungstabelle ASTM E140 oder GB/T 1172, um empirische Formelfehler zu vermeiden.

Die tatsächliche Messung ist vorzuziehen : Die Umrechnung dient nur als Referenz, die direkte Prüfung der Zielhärteeinheit ist genauer.

Datenunterstützung :

YG8: HV30 ≈ 1400 , HRA ≈ 88 , HRC ≈ 63 (GB/T 7997).

Ultrafeinkörniges Hartmetall: HV30 ≈ 2000 , HRA $\approx 91,5$ (Sandvik, 2023).

Anwendung der Hartmetallhärteprüfung

Qualitätskontrolle : Härteprüfungen bestätigen die Leistung von Hartmetallsorten wie YG6 (1500 HV, 89 HRA) für die Grobbearbeitung und Ultrafeinkörnigkeit (2000 HV, 91 HRA) für die Schlichtbearbeitung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Prozessoptimierung : Die Härte spiegelt den Sintereffekt wider. Große Körner ($>2\ \mu\text{m}$) reduzieren die Härte, und die η -Phase ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) verringert die Zähigkeit (ISO 3326:2013).

Werkzeugauswahl :

Hohe Härte (HV 1800–2200): geeignet für das Hochgeschwindigkeitsschneiden harter Materialien (Edelstahl, Titanlegierung).

Mittlere Härte (HV 1400–1600): geeignet für die allgemeine Bearbeitung (Gusseisen, Stahl).

Im Vergleich zu superharten Materialien :

Hartmetall: 1400–2200 HV, niedriger als Diamant (8000–10000 HV) und CBN (4500 HV).

Hartmetall hat eine bessere Zähigkeit als superharte Materialien und ist für Stoßbelastungen geeignet (Wikipedia, 2024).

Abschließend

Die Härte von Hartmetall umfasst hauptsächlich:

Vickershärte (HV) : 1400–2200 HV, hohe Genauigkeit, geeignet für Standardprüfungen (ISO 3878).

Rockwellhärte (HRA) : 8092 HRA, schnell, häufig in der Industrie verwendet (GB/T 230.1).

Rockwellhärte (HRC) : 6570 HRC, beschränkt auf niedrige Härtegrade.

Knoop-Härte (HK) : 1500–2300 HK, geeignet für Dünnschicht- und Mikroprüfungen (ASTM E384).

Konvertierungsbeziehung :

HV und HRA: $\text{HRA} \approx 100\ 4000/\text{HV}$.

HV und HRC: $\text{HRC} \approx 0,035 \times \text{HV} + 12$ (hohe Härte führt zu großen Fehlern).

HV und HK: $\text{HK} \approx \text{HV} \times 1,051,10$.

Es wird empfohlen, die Umrechnungstabellen ASTM E140 und GB/T 1172 zu verwenden und eine direkte Prüfung der Zieleinheit vorzuziehen.

Die Hartmetallhärteprüfung ist der Schlüssel zur Qualitätskontrolle und Werkzeugauswahl. Die geeignete Methode sollte entsprechend der Sorte (YG6, YG8), der Korngröße und den Verarbeitungsanforderungen ausgewählt werden. Die Umrechnung sollte sorgfältig erfolgen und mit tatsächlichen Messungen kombiniert werden, um die Genauigkeit zu gewährleisten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang :

Eigenschaften, Einflussfaktoren, Prüfmethoden, Anwendungsfälle und
Optimierungsmaßnahmen verschiedener Eigenschaften von Hartmetall

Leistung	Merkmale	Einflussfaktoren	Testmethode	Anwendungsfälle	Optimierungsmaßnahmen
Härte	Hohe Härte (1400–2200 HV, 8092 HRA), hohe Verschleißfestigkeit, nur übertrifften von superharten Werkstoffen (wie Diamant 8000 HV). Typische Werte: YG6 (1500 HV30, 89 HRA), YG8 (1400 HV30, 88 HRA), ultrafeine Körnung (2000 HV30, 91 HRA) (Sandvik, 2023). Trend: Die Härte steigt exponentiell mit abnehmender Korngröße.	Korngröße: Ultrafeines Korn (<0,5 µm) Härte 1800–2200 HV, mittleres Korn (12 µm) Härte 1400–1600 HV. Kobaltgehalt: 6 % Kobalt haben eine hohe Härte, 15 % Kobalt verringern die Härte um 10–15 %. Verunreinigungen: η-Phase verringert die Härte um 5–10 %, freier Kohlenstoff um 35 %. Sintertemperatur: >1450 °C, grobe Körner, Härte verringert sich um 10 %.	Vickershärte (HV30, ISO 3878): 30 kgf Belastung, quadratischer Diamant-Pyramiden-Eindringkörper, Messung der Eindringtiefe. Rockwellhärte (HRA, GB/T 230.1): 60 kgf Belastung, kegelförmiger Diamant-Eindringkörper, Messung der Eindringtiefe. Fehler: ±2 % (ASTM E18).	Das YG6-Werkzeug (1500 HV) bearbeitet Gusseisen mit einer Geschwindigkeit von 150 m/min und hat eine Lebensdauer von 2 Stunden. Das Ultrafeinkörnungswerkzeug (2000 HV) bearbeitet Edelstahl mit einer Geschwindigkeit von 300 m/min und hat eine Lebensdauer von 3 Stunden.	Durch die Verwendung von ultrafeinem Pulver (<0,5 µm) wird die Härte auf 2000 HV erhöht und die Verschleißfestigkeit um 20 % verbessert. Durch die Kontrolle des Kobaltgehalts auf 68 % erhöht sich die Härte um 510 %. Die Sintertemperatur beträgt 1350–1400 °C, wodurch die η-Phase reduziert wird (GB/T 3849). Die Zugabe von TaC (0,51 %) hemmt das Kornwachstum und erhöht die Härte um 5 %.
Zähigkeit	Mittlere Zähigkeit, Schlagzähigkeit besser als bei superharten Werkstoffen, geringer als bei Schnellarbeitsstahl, geeignet für mittlere und hohe Schnittgeschwindigkeiten. Typische Werte: YG6 (KIC 8 MPa·m ^{1/2}), YG8 (10 MPa·m ^{1/2}), YG15 (12 MPa·m ^{1/2}) (ScienceDirect, 2020). Trend: Die Zähigkeit steigt linear mit dem Kobaltgehalt.	Kobaltgehalt: 6 % Co KIC ~8 MPa·m ^{1/2} , 15 % Co KIC ~12 MPa·m ^{1/2} . Korngröße: 12 µm bedeutet hohe Zähigkeit, <0,5 µm bedeutet 20 % Zähigkeitsverlust. Defekte: Porosität > 0,1 % bedeutet 15 % Zähigkeitsverlust, η-Phase 10 % Zähigkeitsverlust. Bindephase: Ungleichmäßige Kobaltphase reduziert die Schlagzähigkeit um 10 %.	Bruchzähigkeit (KIC, ASTM E399): Probe mit einseitig gekerbtem Balken (SENB), 3-Punkt-Biegeversuch, Rissausdehnungsmessung. Schlagzähigkeit (GB/T 229): Charpy-Schlagversuch, Berechnung der Energieabsorption. Fehler: ±5 %.	Die Matrize YG15 (KIC 12 MPa·m ^{1/2}) stantzt Stahlplatten mit einer Schlaglebensdauer von 100.000 Schlägen. Das Werkzeug YG8 (KIC 10 MPa·m ^{1/2}) verarbeitet Stahl mit besserer Absplitterungsbeständigkeit als YG6.	Durch Erhöhung des Kobaltgehalts auf 15 % (z. B. YG15) steigt der KIC auf 12 MPa·m ^{1/2} und die Schlagzähigkeit um 30 %. Bei Verwendung mittlerer Körnung (12 µm) erhöht sich die Zähigkeit um 15 %. Durch Vakuumsintern + HIP wird die Porosität auf <0,01 % reduziert und die Zähigkeit um 10 % erhöht. Die Zugabe von Cr3C2 (0,5 %) verbessert die Gleichmäßigkeit der Kobaltphase und erhöht die Zähigkeit um 5 %.
Druckfestigkeit	Hohe Druckfestigkeit (46 GPa), geeignet für hohe Druckbelastungen, besser als Schnellarbeitsstahl (~2 GPa).	Kobaltgehalt: 6 % Kobalt bedeuten hohe Festigkeit, über 15 % Kobalt einen Festigkeitsabfall von 10 %.	Druckfestigkeit (GB/T 3851): Zylindrische Probe, einachsige Kompression, Messung der maximalen	Der YG6-Bergbaubohrer (5 GPa) hält hohen Gesteinsdruckbelastungen stand und hat eine	Kontrollieren Sie den Kobaltgehalt auf 68 % und halten Sie die Festigkeit bei 56 GPa. Verwenden Sie

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

Leistung	Merkmale	Einflussfaktoren	Testmethode	Anwendungsfälle	Optimierungsmaßnahmen
	Typische Werte: YG6 (5 GPa), YG8 (4,8 GPa), Ultrafeinkörnigkeit (<0,5 µm) (ASTM B406). Trend: Die Druckfestigkeit nimmt mit abnehmender Korngröße leicht zu.	Korngröße: Ultrafeines Korn (<0,5 µm) hat eine Festigkeit von 6 GPa, mittleres Korn (12 µm) eine Festigkeit von 4,8 GPa. Defekte: Porosität >0,1 % bedeutet einen Festigkeitsabfall von 15 %, freier Kohlenstoff einen Festigkeitsabfall von 5 %. Sinterqualität: Unterbrechen (<1350 °C) führt zu schlechter Bindung und einem Festigkeitsabfall von 10 %.	Belastung. Prüfbedingungen: Raumtemperatur, Belastungsgeschwindigkeit 0,5 mm/min. Fehler: ± 3 %.	Lebensdauer von 100 Stunden. Die ultrafeine Kornmatrize (6 GPa) wird zum Stanzen mit hoher Belastung verwendet und ist verformungsbeständig.	ultrafeine Körner (<0,5 µm), um die Festigkeit auf 6 GPa zu erhöhen. Verwenden Sie HIP, um die Porosität auf <0,01 % zu reduzieren und die Festigkeit um 10 % zu erhöhen. Kontrollieren Sie den Kohlenstoffgehalt (±0,1 %), um freien Kohlenstoff zu vermeiden (GB/T 3849).
Biegefestigkeit	Mittlere Biegefestigkeit (1,5–2,5 GPa), geeignet für Werkzeuge und Formen, die Biegebelastungen standhalten. Typische Werte: YG6 (2 GPa), YG8 (2,2 GPa), YG15 (2,5 GPa) (ASTM B406). Trend: Die Biegefestigkeit steigt mit dem Kobaltgehalt.	Kobaltgehalt: 6 % Kobalt ~2 GPa, 15 % Kobalt ~2,5 GPa. Korngröße: 12 µm bedeutet hohe Festigkeit, <0,5 µm bedeutet leicht reduzierte Festigkeit um 5 %. Defekte: Porosität und η-Phase reduzieren die Festigkeit um 10-15 %. Sinterqualität: Ungleichmäßige Struktur reduziert die Festigkeit um 10 %.	Biegefestigkeit (ASTM B406): 3-Punkt-Biegeprobe, Spannweite 20 mm, Belastungsgeschwindigkeit 0,5 mm/min. Prüfbedingungen: Raumtemperatur. Fehler: ±4 %.	Das YG8-Werkzeug (2,2 GPa) verarbeitet Stahl und weist eine gute Biege- und Bruchfestigkeit auf. Die YG15-Matrize (2,5 GPa) stanzt Autoteile und hat eine Lebensdauer von 120.000 Umdrehungen.	Eine Erhöhung des Kobaltgehalts auf 15 % (z. B. YG15) erhöht die Festigkeit auf 2,5 GPa. Bei Verwendung mittlerer Körnung (12 µm) erhöht sich die Festigkeit um 10 %. Die Verwendung von HIP zur Reduzierung der Porosität erhöht die Festigkeit um 15 %. Die Zugabe von Cr3C2 (0,51 %) zur Verstärkung der Bindungsphase erhöht die Festigkeit um 5 %.
Zugfestigkeit	Die Zugfestigkeit ist gering (0,5–1,0 GPa), und Hartmetall ist für Zugbelastungen nicht gut geeignet. Typische Werte: YG6 (0,7 GPa), YG8 (0,8 GPa), YG15 (1,0 GPa) (ScienceDirect, 2020). Trend: Die Zugfestigkeit steigt mit zunehmendem Kobaltgehalt leicht an.	Kobaltgehalt: 6 % Kobalt ~0,7 GPa, 15 % Kobalt ~1,0 GPa. Korngröße: 12 µm hat eine höhere Festigkeit, <0,5 µm verringert sich geringfügig um 5 %. Defekte: Risse und Poren verringern die Festigkeit um 20 %. Bindephase: Ungleichmäßige Kobaltphase verringert die Festigkeit um 10 %.	Zugfestigkeit (GB/T 228.1): Zugprobe, axiale Spannung, Bruchlastmessung. Prüfbedingungen: Raumtemperatur, Geschwindigkeit 1 mm/min. Fehler: ± 5 %.	Der Drahtziehstein YG15 (1,0 GPa) hält Zugspannungen stand und hat eine Lebensdauer von 50.000 Mal. Das Werkzeug YG8 (0,8 GPa) weist während der Verarbeitung eine bessere Zugbruchfestigkeit auf als YG6.	Eine Erhöhung des Kobaltgehalts auf 15 % erhöht die Festigkeit auf 1,0 GPa. Bei Verwendung mittlerer Körnung (12 µm) erhöht sich die Festigkeit um 10 %. Durch Optimierung des Vakuumsinterns wird die Rissrate auf <0,1 % reduziert, und die Festigkeit steigt um 15 %. Die Zugabe von Ni (35 %) oder Cr3C2 verbessert die Zähigkeit und erhöht die

Leistung	Merkmale	Einflussfaktoren	Testmethode	Anwendungsfälle	Optimierungsmaßnahmen
					Festigkeit um 5 %.
Verschleißfestigkeit	Hervorragende Verschleißfestigkeit, 510-mal höhere Standzeit als Schnellarbeitsstahl, geeignet für Hochgeschwindigkeitsschneiden. Typische Werte: YG6 (Verschleißrate <0,01 mm³/N·m), ultrafeines Korn (<0,005 mm³/N·m) (Sandvik, 2023). Trend: Die Verschleißfestigkeit steigt mit dem Härteindex.	Härte: 2000 HV. Verschleißfestigkeit besser als 1400 HV (Lebensdauer verdoppelt). Korngröße: Ultrafeines Korn (<0,5 µm). Verschleißrate halbiert sich. Betriebsbedingungen: >800°C oder Geschwindigkeit >500 m/min. Verschleiß erhöht sich. Beschichtung: Ohne Beschichtung ist die Verschleißrate dreimal höher.	Verschleißprüfung (ASTM G65): Die Schleifscheibe verschleißt die Probe und misst den Volumenverlust. Prüfbedingungen: trockener Sand, Belastung 130 N. Fehler: ±5 %.	YG6-Werkzeug (0,01 mm³/N·m) zur Bearbeitung von Gusseisen, Standzeit 2 Stunden. Werkzeug mit ultrafeinem Korn und TiN-Beschichtung (0,005 mm³/N·m) zur Bearbeitung von rostfreiem Stahl, Standzeit 4 Stunden.	Durch den Einsatz ultrafeiner Körnungen (HV 2000+) wird der Verschleiß auf <0,005 mm³/N·m reduziert. Eine TiN/Al2O3-Beschichtung (510 µm, CVD/PVD) erhöht die Standzeit um das 23-fache. Eine Optimierung der Schnittgeschwindigkeit (100–300 m/min) reduziert den Verschleiß. Die Zugabe von TaC (0,51 %) erhöht die abrasive Verschleißfestigkeit um 10 %.
Hitzebeständigkeit	Gute Wärmebeständigkeit (800–1000 °C), besser als Schnellarbeitsstahl (500–600 °C), geeignet für Hochtemperaturschneiden. Typische Werte: YG6 (900 °C), TiC-basiert (1000 °C) (ScienceDirect, 2020). Trend: Die Wärmebeständigkeit steigt mit dem TiC-Anteil.	Kobaltgehalt: >15 %. Kobalt erweicht bei hohen Temperaturen, die Warmhärte sinkt um 20 %. Hartphase: TiC und TaC haben eine bessere Hitzebeständigkeit als WC (100 °C höher). Beschichtung: Ohne Beschichtung sinkt die Hitzebeständigkeit um 30 %. Mikrostruktur: Ungleichmäßige Struktur weist eine schlechte Hochtemperaturbeständigkeit auf.	Rothärteprüfung (GB/T 4340): Erhitzen Sie die Probe auf 800–1000 °C und messen Sie die Härterhaltungsrate. Thermoschockprüfung: Zyklisches Erhitzen und Abkühlen, Rissbewertung. Fehler: ± 5 %.	YG6-Werkzeug (900 °C) zur Bearbeitung von Stahl, beständig gegen Hochtemperaturverschleiß. TiC-basiertes + Al2O3-beschichtetes Werkzeug (1000 °C) zur Bearbeitung von Titanlegierungen, Lebensdauer 3 Stunden.	Eine Reduzierung des Kobaltgehalts (<8 %) erhöht die Warmhärte um 10 %. Die Zugabe von TiC/TaC (510 %) erhöht die Hitzebeständigkeit auf 1000 °C. Eine Al2O3-Beschichtung (58 µm) erhöht die Wärmedämmung um 20 %. Eine Gradientenstruktur (Oberflächenkobalt <5 %) erhöht die Hochtemperaturbeständigkeit um 15 %.
Korrosionsbeständigkeit	Gute Korrosionsbeständigkeit, Säure- und Laugenbeständigkeit, geeignet für Nassverarbeitung und chemische Umgebungen. Typische Werte: YG6 (Korrosionsrate <0,01 mm/Jahr, neutrale Lösung), nickelbasiert (<0,005 mm/Jahr) (Wikipedia, 2024). Trend: Die Korrosionsbeständigkeit steigt	Kobaltphase: Die Korrosionsrate von Kobalt erhöht sich in Lösungen mit einem pH-Wert < 4 um das Fünffache, und Nickel ist säurebeständiger. Umgebung: In sauren Lösungen verstärkt sich die Korrosion. Mikrostruktur: Porosität > 0,1 % oder freier Kohlenstoff	Korrosionsprüfung (ASTM G31): Die Probe wird in eine neutrale/saure Lösung (pH 47) getaucht und der Masseverlust gemessen. Prüfbedingungen: 25 °C, 30 Tage. Fehler: ±3 %.	YG6-Werkzeug (0,01 mm/Jahr) Nassschneidkühlmittel, Lebensdauer 1000 Stunden. Nickelbasierte + CrN-beschichtete Form (0,005 mm/Jahr) für saure Umgebung, Lebensdauer 1 Jahr.	Durch die Verwendung eines nickelbasierten Bindemittels (Ni 510 %) wird die Korrosionsrate auf <0,005 mm/Jahr reduziert. Durch die TiN/CrN-Beschichtung (510 µm) wird die Korrosionsbeständigkeit um das Zweifache erhöht. Durch die Optimierung des HIP wird

Leistung	Merkmale	Einflussfaktoren	Testmethode	Anwendungsfälle	Optimierungsmaßnahmen
	mit dem Nickelanteil.	erhöht die Korrosion um 10 %. Beschichtung: Ohne Beschichtung ist die Korrosionsrate doppelt so hoch.			die Porosität auf <0,01 % gesenkt und die Korrosionspunkte um 15 % reduziert. Kontrollieren Sie den Kohlenstoffgehalt und vermeiden Sie freien Kohlenstoff (GB/T 3849).

Zusätzliche Hinweise

1. Datenunterstützung

Härte: YG6 (1500 HV30, 89 HRA), ultrafeines Korn (2000 HV30, 91 HRA) (ISO 3878, GB/T 7997).
Zähigkeit: YG6 (8 MPa·m^{1/2}), YG15 (12 MPa·m^{1/2}) (ScienceDirect, 2020).
Festigkeit: Druckfestigkeit 46 GPa, Biegefestigkeit 1,52,5 GPa (ASTM B406), Zugfestigkeit 0,51,0 GPa (ScienceDirect, 2020).
Verschleißfestigkeit: Die Lebensdauer beschichteter Werkzeuge erhöht sich um das 23-fache (Sandvik, 2023).
Hitzebeständigkeit: Hitzebeständigkeit auf TiC-Basis 1000 °C (ScienceDirect, 2020).
Korrosionsbeständigkeit: Korrosionsrate auf Nickelbasis <0,005 mm/Jahr (Wikipedia, 2024).

2. Wechselwirkung der Einflussfaktoren

Korn und Kobalt: Ultrafeine Körner (<0,5 µm) verbessern Härte und Druckfestigkeit, hoher Kobaltgehalt (1015 %) verbessert Zähigkeit und Biege-/Zugfestigkeit.
Sinterprozess: Vakuumsintern (1350–1400 °C) + HIP reduziert die Porosität (<0,01 %) und verbessert alle Eigenschaften (ISO 3326:2013).
Zusätze: TaC (0,51 %) verbessert Härte und Verschleißfestigkeit, Cr3C2 (0,5 %) erhöht Zähigkeit und Biegefestigkeit, TiC (510 %) verbessert die Hitzebeständigkeit.
Beschichtung: TiN/Al2O3 (510 µm) verbessert die Verschleißfestigkeit und Hitzebeständigkeit, CrN erhöht die Korrosionsbeständigkeit.

3. Standardreferenz

Härte: ISO 3878 (HV), GB/T 230.1 (HRA), ASTM E18.
Zähigkeit: ASTM E399 (KIC), GB/T 229 (Schlagzähigkeit).
Festigkeit: GB/T 3851 (Druck), ASTM B406 (Biegung), GB/T 228.1 (Zug).
Abriebfestigkeit: ASTM G65.
Hitzebeständigkeit: GB/T 4340.
Korrosionsbeständigkeit: ASTM G31.
Kobaltmagnete: GB/T 3849, Überprüfung des Kobaltgehalts und der Kohlenstoffbilanz.

Abschließend

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Eigenschaften von Hartmetall (Härte, Zähigkeit, Druck-/Biege-/Zugfestigkeit, Verschleißfestigkeit, Hitzebeständigkeit, Korrosionsbeständigkeit) werden durch Korngröße, Kobaltgehalt, Additive, Sinterverfahren und Beschichtung bestimmt:

Härte: Ultrafeines Korn + wenig Kobalt (6%) bis 2000 HV, Verschleißfestigkeit um 20 % erhöht.

Zähigkeit: Hoher Kobaltgehalt (15 %) + mittlere Körnung, KIC bis zu $12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, Schlagzähigkeit um 30 % erhöht.

Druckfestigkeit: Ultrafeinkörnung + HIP erreicht 6 GPa, eine Steigerung von 10 %.

Biegefestigkeit: Hoher Kobaltgehalt + HIP erreicht 2,5 GPa, eine Steigerung von 25 %.

Zugfestigkeit: Hoher Kobalt-Nickel-Gehalt erreicht 1,0 GPa, eine Steigerung von 30 %.

Verschleißfestigkeit: Ultrafeines Korn + TiN-Beschichtung, Verschleißrate $< 0,005 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$, Lebensdauer um das 23-fache erhöht.

Hitzebeständigkeit: TiC/TaC + wenig Kobalt, Hitzebeständigkeit 1000°C , Erhöhung um 20 %.

Korrosionsbeständigkeit: Nickelbasiert + CrN-Beschichtung, Korrosionsrate $< 0,005 \text{ mm/Jahr}$, um das Zweifache erhöht.

Durch die genaue Kontrolle der Korngröße, des Kobaltgehalts, der Sinterparameter und der Beschichtung sowie durch Standardtests (wie z. B. GB/T 3849) kann die Leistung von Hartmetall optimiert werden, um die Anwendungsanforderungen von Werkzeugen, Formen, im Bergbau usw. zu erfüllen.

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 :

Zusammenhang zwischen Härte und Festigkeit von Hartmetall

Hartmetall (Hartmetall) wird aufgrund seiner hohen Härte und Festigkeit häufig in Schneidwerkzeugen, Formen und anderen Bereichen eingesetzt. Härte und Festigkeit sind zwei Schlüsseleigenschaften von Hartmetall. Zwischen beiden besteht jedoch eine komplexe Wechselwirkung, die von der Mikrostruktur (wie Korngröße, Kobaltgehalt), der Zusammensetzung und dem Herstellungsprozess beeinflusst wird. Dieser Artikel analysiert detailliert den Zusammenhang zwischen Härte und Festigkeit von Hartmetall, einschließlich Definition, Einflussfaktoren, Beziehungstrends, quantitativen Daten, Prüfmethoden und praktischen Anwendungen. Ergänzt durch Normen (wie ISO, ASTM, GB/T) und Branchendaten gewährleistet er präzise und umfassende Inhalte.

1. Definition von Härte und Festigkeit

Definition der Hartmetallhärte

Die Härte von Hartmetall zeigt seine Widerstandsfähigkeit gegenüber lokaler plastischer Verformung oder Kratzern an und spiegelt im Allgemeinen seine Verschleißfestigkeit und Abriebfestigkeit wider.

Messmethode:

Vickershärte (HV): ISO 3878, 30 kgf Last, quadratischer Diamantpyramiden-Eindringkörper, diagonale Messung des Eindrucks (Einheit: HV30).

Rockwell-Härte (HRA): GB/T 230.1, 60 kgf Last, Diamantkegel-Eindringkörper, Messung der Eindringtiefe (Einheit: HRA).

Typische Werte: YG6 (1500 HV30, 89 HRA), YG8 (1400 HV30, 88 HRA), ultrafeines Korn (2000 HV30, 91 HRA) (Sandvik, 2023).

Definition der Hartmetallfestigkeit

Die Festigkeit von Hartmetall bezieht sich auf seine Fähigkeit, Schäden durch äußere Kräfte zu widerstehen, einschließlich Druckfestigkeit, Biegefestigkeit und Zugfestigkeit.

Messmethode:

Druckfestigkeit: GB/T 3851, einachsige Kompression zylindrischer Proben, Messung der maximalen Belastung (Einheit: GPa).

Biegefestigkeit: ASTM B406, 3-Punkt-Biegeprobe, Messung der Bruchlast (Einheit: GPa).

Zugfestigkeit: GB/T 228.1, axiale Zugprobe, Messung der Bruchlast (Einheit: GPa).

Typische Werte:

Druckfestigkeit: YG6 (5 GPa), YG8 (4,8 GPa), ultrafeines Korn (6 GPa) (ASTM B406).

Biegefestigkeit: YG6 (2 GPa), YG8 (2,2 GPa), YG15 (2,5 GPa) (ASTM B406).

Zugfestigkeit: YG6 (0,7 GPa), YG8 (0,8 GPa), YG15 (1,0 GPa) (ScienceDirect, 2020).

2. Zusammenhang zwischen Härte und Festigkeit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Härte und Festigkeit von Hartmetall sind keine einfache lineare Beziehung, sondern ein komplexer Kompromiss, der sich hauptsächlich in Folgendem manifestiert:

Härte und Druckfestigkeit: Normalerweise besteht eine positive Korrelation. Hartmetalle mit hoher Härte (z. B. ultrafeine Körner) weisen aufgrund des hohen Anteils an Hartphase (WC) und der feinen Körner auch eine hohe Druckfestigkeit auf.

Härte und Biege-/Zugfestigkeit: Sie stehen oft in einem negativen oder schwachen Zusammenhang. Hohe Härte (z. B. niedriger Kobaltgehalt, ultrafeine Körner) geht in der Regel mit einer verringerten Zähigkeit einher, was zu einer verringerten Biege- und Zugfestigkeit führt.

Wichtige Einflussfaktoren: Korngröße, Kobaltgehalt und Mikrostruktur (Poren, η -Phase) regulieren gemeinsam das Gleichgewicht zwischen Härte und Festigkeit.

Quantifizierung von Beziehungstrends

Erhöhte Härte (z. B. von 1400 HV auf 2000 HV):

Druckfestigkeit: Erhöht um 1020 % (z. B. von 4,8 GPa auf 6 GPa).

Biegefestigkeit: Kann um 515 % abnehmen (z. B. von 2,2 GPa auf 1,8 GPa).

Zugfestigkeit: Abnahme um 1020 % (z. B. von 0,8 GPa auf 0,6 GPa).

Grund: Hartmetalle mit hoher Härte (z. B. ultrafeine Körner $<0,5 \mu\text{m}$, niedriger Kobaltgehalt 6 %) haben einen hohen Anteil an Hartphasen, eine starke Bindung zwischen den Körnern und eine verbesserte Druckfestigkeit. Ein niedriger Kobaltgehalt und feine Körner verringern jedoch die Zähigkeit und schwächen die Biege-/Zugfestigkeit.

Datenunterstützung für die Beziehung zwischen Härte und Festigkeit von Hartmetall

Marke	Härte (HV30)	Druckfestigkeit (GPa)	Biegefestigkeit (GPa)	Zugfestigkeit (GPa)
YG6	1500	5,0	2.0	0,7
YG8	1400	4.8	2.2	0,8
YG15	1300	4.5	2.5	1.0
Ultrafeine Körnung	2000	6,0	1.8	0,6

Quelle: Sandvik (2023), ScienceDirect (2020), ASTM B406.

3. Hauptfaktoren, die das Verhältnis zwischen Härte und Festigkeit beeinflussen

Körnung

Beeinflussen:

Ultrafeine Körner ($<0,5 \mu\text{m}$): Hohe Härte (1800–2200 HV), hohe Druckfestigkeit (6 GPa), aber geringe Biege-/Zugfestigkeit (1,8 GPa/0,6 GPa) aufgrund der verringerten Zähigkeit.

Mittlerer Kristall (12 μm): mittlere Härte (1400–1600 HV), hohe Biege-/Zugfestigkeit (2,2–2,5 GPa/0,8–1,0 GPa) und gute Zähigkeit.

Tendenz: Korngröße nimmt ab, Härte und Druckfestigkeit nehmen zu, Biegezugfestigkeit nimmt ab.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Quantifizierung: Die Korngröße verringert sich von 2 μm auf 0,5 μm , die Härte erhöht sich um 2030 %, die Druckfestigkeit erhöht sich um 10 % und die Biegefestigkeit verringert sich um 10 %.

Kobaltgehalt

Beeinflussen:

Niedriger Kobaltgehalt (6 %): Hohe Härte (1500–2000 HV), hohe Druckfestigkeit (56 GPa), aber geringe Biege-/Zugfestigkeit (2 GPa/0,7 GPa) aufgrund der geringen Menge an Kobaltphase und geringer Zähigkeit.

Hoher Kobaltgehalt (15 %): geringe Härte (1300 HV), hohe Biege-/Zugfestigkeit (2,5 GPa/1,0 GPa), da die Kobaltphase die Zähigkeit erhöht.

Tendenz: Mit steigendem Kobaltgehalt nehmen Härte und Druckfestigkeit ab, während die Biege-/Zugfestigkeit zunimmt.

Quantifizierung: Wenn der Kobaltanteil von 6 % auf 15 % steigt, verringert sich die Härte um 1015 %, die Druckfestigkeit verringert sich um 10 % und die Biegefestigkeit erhöht sich um 20 %.

Mikrostruktur

Porosität: Eine Porosität von $> 0,1$ % verringert die Druckfestigkeit um 15 % und die Biege-/Zugfestigkeit um 20 %, mit geringen Auswirkungen auf die Härte (< 5 %).

η -Phase ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$): entsteht durch unzureichenden Kohlenstoffgehalt, wodurch die Härte um 510 %, die Druckfestigkeit um 10 % und die Biege-/Zugfestigkeit um 15 % reduziert werden.

Freier Kohlenstoff: Übermäßige Kohlenstoffausfällung reduziert die Härte um 35 %, die Druckfestigkeit um 5 % und die Biege-/Zugfestigkeit um 10 %.

Quantifizierung: Beseitigung der Porosität (heißisostatisches Pressen HIP), Biegefestigkeit um 15 % erhöht, Zugfestigkeit um 20 % erhöht.

Sinterprozess

Beeinflussen:

Überbrennen bei hohen Temperaturen (> 1450 °C): grobe Körnung, Härte um 10 % reduziert, Druckfestigkeit um 5 % reduziert, Biege-/Zugfestigkeit um 10 % reduziert.

Unterbrannt (< 1350 °C): schlechte Bindung, Härte um 5 % reduziert, Druck-/Biege-/Zugfestigkeit um 1015 % reduziert.

HIP: Beseitigt Porosität, erhöht die Druckfestigkeit um 10 % und die Biege-/Zugfestigkeit um 15 %.

Trend: Durch Optimierung der Sintertemperatur (1350–1400 °C) und HIP wird die Festigkeit verbessert, ohne dass die Härte beeinträchtigt wird.

Zusatzstoff

TaC, TiC: Erhöht die Härte um 510 %, die Druckfestigkeit um 5 %, verringert jedoch die Biege-/Zugfestigkeit um 5 % (aufgrund der verringerten Zähigkeit).

Cr_3C_2 : Verbessert die Bindungsstärke von Kobalt, erhöht die Biege-/Zugfestigkeit um 510 % und hat wenig Einfluss auf die Härte.

Quantifizierung: Durch Zugabe von 0,5 % TaC wird die Härte um 5 %, die Druckfestigkeit um 5 % und die Biegefestigkeit um 3 % erhöht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Datenunterstützung: ISO 3326:2013 (Kobalt-Magnettest, Erkennung der η -Phase), ASTM B406 (Biegefestigkeit), ScienceDirect (2020).

4. Prüfmethoden und Normen

Härteprüfung:

Vickershärte (HV30): ISO 3878, 30 kgf Last, Fehler ± 2 %. Geeignet für den gesamten Härtebereich von Hartmetall (1400–2200 HV).

Rockwellhärte (HRA): GB/T 230.1, 60 kgf Belastung, Fehler ± 1 %. Geeignet für Schnellprüfungen (8092 HRA).

Festigkeitstest:

Druckfestigkeit: GB/T 3851, zylindrische Probe (5 mm Durchmesser), Fehler ± 3 %. Misst die hohe Druckbelastbarkeit.

Biegefestigkeit: ASTM B406, 3-Punkt-Biegung (Probe $5 \times 5 \times 25$ mm), Fehler ± 4 %. Bewertung der Biegebruchfestigkeit.

Zugfestigkeit: GB/T 228.1, Zugprüfkörper (5 mm Durchmesser), Fehler ± 5 %. Zugbruchkapazität messen.

Mikrostrukturanalyse: ISO 4499, metallografisches Mikroskop zur Erkennung von Korngröße, Poren, η -Phase und zur Unterstützung bei der Beurteilung von Härte und Festigkeit.

5. Praktische Anwendung der Beziehung zwischen Härte und Festigkeit

Messer

Hohe Härte, geringe Festigkeit: Ultrafeinkörniges Hartmetall (2000 HV, 1,8 GPa Biegefestigkeit) wird zum Hochgeschwindigkeitsschneiden von Edelstahl (Geschwindigkeit 300 m/min) verwendet, mit hoher Verschleißfestigkeit, aber leichter Splitterbildung.

Mittlere Härte, hohe Festigkeit: YG8 (1400 HV, 2,2 GPa Biegefestigkeit) wird zur Bearbeitung von Stahl verwendet, verfügt über eine hohe Biegefestigkeit, eignet sich für Schnitte mit mittlerer Geschwindigkeit (150 m/min) und hat eine Lebensdauer von 23 Stunden.

Fallbeispiel: Ultrafeinkörnige Schneidwerkzeuge weisen eine hohe Härte auf und können Stahl mit einer Härte von 50 HRC bearbeiten, was ihre Lebensdauer um 20 % erhöht. Ihre Biegefestigkeit ist jedoch gering, sodass der Schnittwinkel optimiert werden muss.

Schimmel

Hohe Härte und hohe Druckfestigkeit: Ultrafeinkörnige Formen (2000 HV, 6 GPa Druckfestigkeit) werden für das Stanzen mit hoher Belastung verwendet und sind verformungsbeständig, haben jedoch eine geringe Zugfestigkeit (0,6 GPa) und sind nicht zum Recken von Formen geeignet.

Hohe Festigkeit, mittlere Härte: YG15 (1300 HV, 2,5 GPa Biegefestigkeit) wird zum Stanzen von Autoteilen verwendet, ist stoßbruchfest und hat eine Lebensdauer von 120.000 Schaltvorgängen.

Gehäuse: Die YG15-Form hat eine hohe Biegefestigkeit, die Stanzstahlplatte weist keine Risse auf, die Härte ist mäßig und die Verschleißfestigkeit entspricht den Anforderungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bergbauwerkzeuge

Ausgewogene Härte und Festigkeit: YG6 (1500 HV, 5 GPa Druckfestigkeit, 2 GPa Biegefestigkeit) wird für Bohrer verwendet, um hohen Gesteinsschlägen standzuhalten und hat eine Lebensdauer von 100 Stunden.

Fall: Die Härte des ultrafeinkörnigen Bohrers stieg auf 2000 HV und die Druckfestigkeit betrug 6 GPa, die Biegefestigkeit sank jedoch auf 1,8 GPa und es war eine Optimierung erforderlich, um die Biegespannung zu verringern.

6. Maßnahmen zur Optimierung des Härte-Festigkeits-Verhältnisses

Korngrößenoptimierung:

Ultrafeines Korn ($<0,5\ \mu\text{m}$): Härte auf 2000 HV erhöht, Druckfestigkeit auf 6 GPa erhöht, geeignet für hochverschleißfeste Werkzeuge.

Mittlerer Kristall ($12\ \mu\text{m}$): Biege-/Zugfestigkeit steigt auf 2,5 GPa / 1,0 GPa, geeignet für Formen.

Umsetzung: Wählen Sie hochreines WC-Pulver und kontrollieren Sie die Kugelmahlzeit (20–30 Stunden).

Kobaltgehaltsregelung:

Niedriger Kobaltgehalt (6 %): Härte 1500–2000 HV, Druckfestigkeit 56 GPa, geeignet für Hochgeschwindigkeitsschneiden.

Hoher Kobaltgehalt (15 %): Biege-/Zugfestigkeit 2,5 GPa / 1,0 GPa, geeignet für Stanzwerkzeuge.

Durchführung: Kobaltpulver genau mischen ($\pm 0,1\ \%$) und mit Kobalt-Magnettest (GB/T 3849) überprüfen.

Verbesserung des Sinterprozesses:

Vakuumsintern ($1350\text{--}1400\ ^\circ\text{C}$): kontrolliert das Kornwachstum und erhöht die Härte um 5 %.

Heißisostatisches Pressen (HIP, $1350\ ^\circ\text{C}$, 100 MPa): Porosität auf $<0,01\ \%$ reduziert, Biege-/Zugfestigkeit um 15 % erhöht.

Durchführung: Zum Einsatz kommt eine HIP-Anlage mit einer Sinterzeit von 12 Stunden.

Additive Optimierung:

TaC (0,51 %): Härte um 5 % erhöht, Druckfestigkeit um 5 % erhöht, geeignet für verschleißfeste Werkzeuge.

Cr₃C₂ (0,5 %): Biege-/Zugfestigkeit um 510 % erhöht, für Formen geeignet.

Durchführung: Das Additiv wird gleichmäßig dispergiert und die Partikelgröße auf $<1\ \mu\text{m}$ kontrolliert.

Beschichtungstechnologie:

TiN/Al₂O₃-Beschichtung ($510\ \mu\text{m}$, CVD/PVD): Die Härte wurde um 10 % erhöht, die Verschleißfestigkeit um das 23-fache erhöht und die Festigkeit wurde leicht beeinträchtigt.

Umsetzung: Kontrollieren Sie die Beschichtungsdicke ($\pm 1\ \mu\text{m}$), um ein Ablösen zu vermeiden.

Wirkung:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ultrafeines Korn + wenig Kobalt + HIP: Härte 2000 HV, Druckfestigkeit 6 GPa, Standzeit um 20 % erhöht.

Mittlerer Kristall + hoher Kobaltgehalt + Cr₃C₂: Biegefestigkeit 2,5 GPa, Zugfestigkeit 1,0 GPa, Lebensdauer der Form um 30 % erhöht.

Abschließend

Die Beziehung zwischen Härte und Festigkeit von Hartmetall ist komplex:

Positive Korrelation: Härte und Druckfestigkeit sind normalerweise positiv korreliert, und ultrafeinkörnige Hartmetalle mit niedrigem Kobaltgehalt weisen eine hohe Härte (2000 HV) und Druckfestigkeit (6 GPa) auf.

Negative Korrelation: Die Härte korreliert negativ mit der Biege-/Zugfestigkeit, und eine hohe Härte (2000 HV) geht mit einer Abnahme der Biege-/Zugfestigkeit (1,8 GPa / 0,6 GPa) einher.

Schlüsselfaktoren: Korngröße (0,52 µm), Kobaltgehalt (615 %), Mikrostruktur und Sinterprozess bestimmen das Gleichgewicht.

Optimierungsstrategie: Durch ultrafeine Körner, Kontrolle des Kobaltgehalts, HIP, Additive und Beschichtungen kann das beste Gleichgewicht zwischen hoher Härte (2000 HV) und hoher Festigkeit (Biegefestigkeit 2,5 GPa) gefunden werden, um den Anforderungen von Schneidwerkzeugen, Formen und Bergbauwerkzeugen gerecht zu werden.

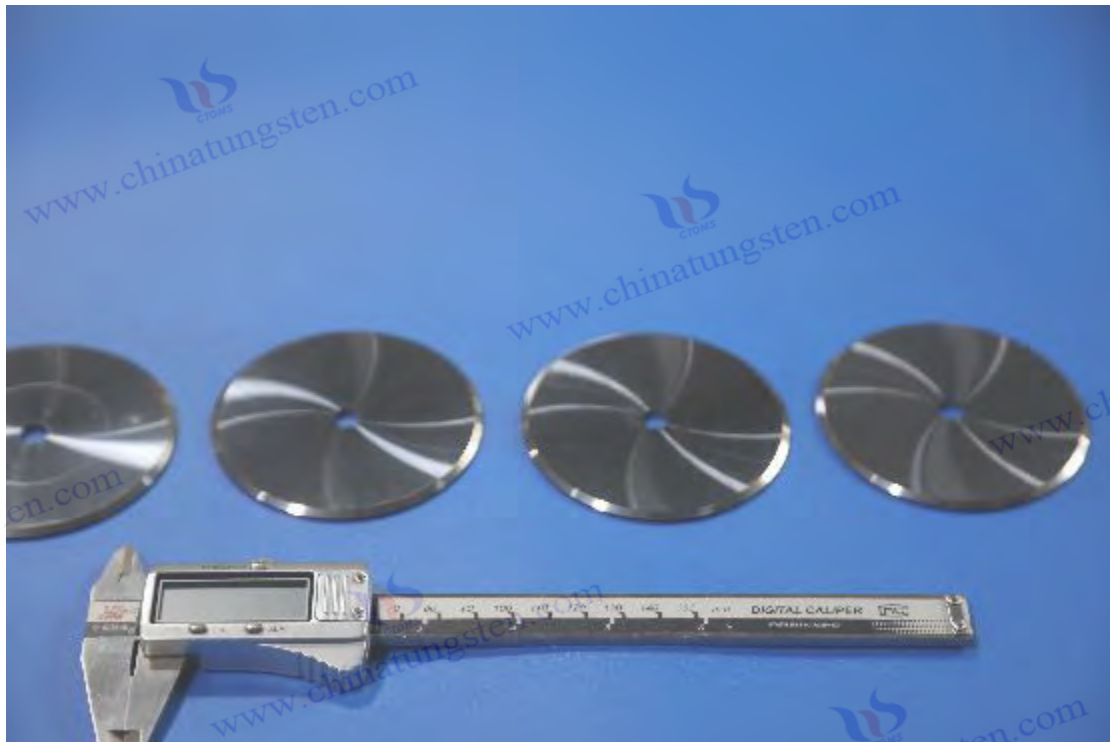
Datenunterstützung:

Härte: 1500–2000 HV (ISO 3878, GB/T 7997).

Festigkeit: Druckfestigkeit 46 GPa, Biegung 1,52,5 GPa, Zugfestigkeit 0,51,0 GPa (ASTM B406, ScienceDirect, 2020).

Normen: ISO 3326:2013, GB/T 3849 (Kobalt-Magnettest), ISO 4499 (Mikrostruktur).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Anhang :

Wie werden die verschiedenen Eigenschaften von Hartmetall getestet?

Für welche Leistungstests ist der Einsatz von Prüfstäben erforderlich?

Hartmetall oder Hartmetall wird aufgrund seiner hohen Härte (1400–2200 HV), Verschleißfestigkeit und Biegefestigkeit (1,5–2,5 GPa) häufig in Schneidwerkzeugen, Formen und Bergbauwerkzeugen verwendet. Um sicherzustellen, dass seine Leistung den industriellen Anforderungen entspricht, sind verschiedene Tests erforderlich, darunter Tests auf Härte, Dichte, Biegefestigkeit, Zähigkeit, Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit, Mikrostruktur und chemische Zusammensetzung. Diese Tests folgen normalerweise internationalen oder nationalen Standards (wie z. B. GB/T 3849, ISO 4499, ASTM B406), und einige Tests erfordern die Verwendung von Standardprüfstäben (Teststäben), um die Konsistenz und Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Dieser Artikel beschreibt detailliert die Methoden zum Testen verschiedener Eigenschaften von Hartmetall, die erforderliche Ausrüstung, ob Teststäbe erforderlich sind und die spezifischen Anforderungen an Teststäbe, kombiniert mit den neuesten Forschungsergebnissen (wie z. B. Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2020; Wikipedia, 2024), alles auf Chinesisch, um sicherzustellen, dass der Inhalt genau, umfassend und faszinierend ist.

1. Übersicht

Der Zweck der Leistungsprüfung von Hartmetall besteht darin, dessen mechanische, physikalische und chemische Eigenschaften zu quantifizieren, um sicherzustellen, dass das Material bestimmte Anwendungsanforderungen erfüllt (z. B. Werkzeugstandzeit > 2 Stunden, Matrizenhübe > 100.000 Mal). Zu den Prüfpunkten gehören:

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

Mechanische Eigenschaften : Härte, Biegefestigkeit, Bruchzähigkeit.

Physikalische Eigenschaften : Dichte, magnetische Eigenschaften.

Chemische Eigenschaften : Korrosionsbeständigkeit, chemische Zusammensetzung.

Mikrostruktur : Korngröße, Defekte (wie η -Phase, freier Kohlenstoff).

Leistung im Einsatz : Verschleißfestigkeit, Beschichtungshaftung.

Für einige Prüfungen (z. B. Biegefestigkeit und Bruchzähigkeit) sind Standardprüfstäbe erforderlich, da deren geometrische Abmessungen und Oberflächenbeschaffenheit die Prüfgenauigkeit direkt beeinflussen. Die Prüfstäbe müssen strenge Anforderungen an Größe, Oberflächenrauheit und Vorbereitung erfüllen, um variable Störungen auszuschließen. Im Folgenden werden die Prüfmethoden, die erforderlichen Prüfstäbe und die Anforderungen an die Prüfstäbe detailliert beschrieben.

2. Leistungstestmethode für Hartmetall

Nachfolgend finden Sie detaillierte Informationen zu Methoden, Geräten und Normen sowie Angaben dazu, ob für allgemeine Leistungstests von Hartmetall Prüfstäbe erforderlich sind.

2.1 Härteprüfung

Definition : Ein Maß für die Eindruckfestigkeit von Hartmetall, üblicherweise ausgedrückt in Vickershärte (HV), im Bereich von 1400 bis 2200 HV.

Testmethode :

Vickershärte (HV) :

Verwenden Sie einen Vickers-Härteprüfer und wenden Sie eine Last von 1030 kgf an (z. B. HV30). Der Eindringkörper ist eine rautenförmige viereckige Pyramide mit einem Scheitelwinkel von 136° . Messen Sie nach dem Eindrücken die diagonale Länge (μm) und wandeln Sie sie in einen Härtewert um (GB/T 7997).

Schritt :

Die Probenoberfläche wurde poliert ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$), um die Oxidschicht zu entfernen.

Wenden Sie eine Last von 1030 kgf an und halten Sie diese 1015 Sekunden lang.

Die Eindruckdiagonale wurde mit dem Mikroskop gemessen und der HV berechnet (Fehler $< \pm 50$ HV).

Ausrüstung : Vickers-Härteprüfer (z. B. Wilson VH3100), Genauigkeit $\pm 0,5 \%$.

Ist ein Prüfstab erforderlich: Nein.

Härteprüfungen können an fertigen Produkten (wie Werkzeugen, Formen) oder allen polierten Proben mit kleinen Größenanforderungen ($> 5 \times 5 \text{ mm}$) durchgeführt werden.

Beispielergebnisse :

YG6: HV30 ~ 1500 HV.

Ultrafeinkörniges Hartmetall: HV30 ~ 2000 HV (Sandvik, 2023).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Standard : GB/T 7997 (Vickershärte), ISO 6507, ASTM E92.

2.2 Dichteprüfung

Definition : Misst das Masse-Volumen-Verhältnis von Hartmetall und spiegelt die Porosität und Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung wider. Der Wert liegt zwischen 14,0 und 15,0 g/cm³.

Testmethode :

Archimedisches Verfahren :

Verwenden Sie eine hochpräzise elektronische Waage (Genauigkeit $\pm 0,001$ g) und deionisiertes Wasser.

Messen Sie das Trockengewicht (m_1) und das Gewicht in Wasser (m_2) der Probe und berechnen Sie die Dichte $\rho = m_1 / (m_1 - m_2) \times \rho_{\text{Wasser}}$.

Schritt :

Die Proben wurden gewaschen (Ethanol) und getrocknet (80 °C, 30 Min.).

Das Trockengewicht und das Gewicht in Wasser wurden dreimal gemessen und der Durchschnittswert ermittelt.

Korrigiert für Wassertemperatureffekte ($\rho_{\text{Wasser}} \sim 1,0$ g/cm³ bei 20 °C).

Ausrüstung : Präzisionswaage (z. B. Mettler Toledo XS205), Zubehör zur Dichteprüfung.

Ist ein Prüfstab erforderlich: Nein.

Bei der Dichteprüfung werden keine Anforderungen an die Probenform gestellt. Blöcke, Platten oder Fertigprodukte (Masse > 1 g) sind zulässig.

Beispielergebnisse :

YG6 (6 % Co): 14,9 g/cm³.

YG15 (15 % Co): 14,0 g/cm³ (ScienceDirect, 2020).

Standard : GB/T 3850 (Dichte), ISO 3369, ASTM B311.

2.3 Biegefestigkeit (Transverse Bruchfestigkeit, TRS)

Definition : Misst die Biegefestigkeit von Hartmetall im Bereich von 1,5 bis 2,5 GPa und spiegelt Zähigkeit und Defekte wider.

Testmethode :

Dreipunkt-Biegeversuch :

Üben Sie mithilfe einer Universalprüfmaschine eine Last aus, bis die Probe bricht.

Formel: $\sigma = 3FL / (2bh^2)$, F ist die Bruchlast (N), L ist der Auflagerabstand (mm), b und h sind die Breite und Höhe des Prüfstabes (mm).

Schritt :

Bereiten Sie Standard-Teststäbe vor (siehe unten) und polieren Sie die Oberfläche ($R_a < 0,4$ μm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Der Auflageabstand beträgt 30 mm und die Belastungsgeschwindigkeit beträgt 0,51 mm/min.

Erfassen Sie die Bruchlast und berechnen Sie die Biegefestigkeit (Fehler $\leq \pm 5\%$).

Ausrüstung : Universalprüfmaschine (z. B. Instron 5982), Genauigkeit $\pm 0,1$ kN.

Ist ein Teststäbchen erforderlich : Ja .

Für die Prüfung der Biegefestigkeit sind Standardprüfstäbe erforderlich, um die geometrische Konsistenz sicherzustellen und Spannungskonzentrationen auszuschließen.

Beispielsergebnisse :

YG6: $\sim 2,0$ GPa.

YG15: $\sim 2,5$ GPa (Sandvik, 2023).

Standard : GB/T 3851 (Biegefestigkeit), ISO 3327, ASTM B406.

2.4 Bruchzähigkeit (KIC)

Definition : Ein Maß für die Widerstandsfähigkeit von Hartmetall gegen Risswachstum im Bereich von $812 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Testmethode :

Einkantige Kerbbalkenmethode (SENB) :

Am Prüfstab wurde eine Kerbe (Tiefe 0,2–0,3 mm) vorgefertigt und eine Dreipunkt-Biegebelastung aufgebracht.

Formel: $KIC = (F\sqrt{a}) / (BW^{3/2}) \times Y$, F ist die Bruchlast, a ist die Kerbtiefe, B und W sind die Breite und Höhe des Prüfstabs und Y ist der geometrische Faktor.

Schritt :

Bereiten Sie Standardprüfstäbe mit EDM- oder Laserschnittkerben vor.

Der Stützabstand beträgt 30 mm und die Belastungsrate beträgt 0,10,5 mm/min.

Die Bruchlast und Kerbtiefe wurden gemessen und KIC berechnet (Fehler $\leq \pm 10\%$).

Ausstattung : Universalprüfmaschine, Mikroskop (Kerbmessung, Genauigkeit $\pm 0,01$ mm).

Ist ein Teststäbchen erforderlich : Ja .

Für die Prüfung der Bruchzähigkeit ist ein Standardprüfstab erforderlich, um die Kerbkonsistenz und gleichmäßige Spannungsverteilung sicherzustellen.

Beispielsergebnisse :

YG6: $KIC \sim 8 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

YG15: $KIC \sim 12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ (ScienceDirect, 2020).

Normen : ISO 28079 (Bruchzähigkeit), ASTM E399.

2.5 Verschleißfestigkeitsprüfung

Definition : Misst die Verschleißfestigkeit von Hartmetall und spiegelt seine Lebensdauer wider.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Testmethode :

Abriebtest (ASTM B611) :

mit einer Schleifscheibe (Al_2O_3 , Partikelgröße $60100 \mu\text{m}$) und der Masseverlust (mg) wurde aufgezeichnet.

Bedingungen: Last 1020 N, Drehzahl 200300 U/min, Zeit 3060 min.

Stift-auf-Scheibe-Verschleißtest (ASTM G99) :

Die Probe (Stift) reibt an einer rotierenden Scheibe (Stahl oder Keramik) und das Verschleißvolumen (mm^3) wird gemessen.

Schritt :

Die Proben wurden poliert ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$) und gereinigt (Ethanol).

Stellen Sie Last, Geschwindigkeit und Zeit ein und zeichnen Sie den Masse-/Volumenverlust auf.

Berechnen Sie die Verschleißrate (Fehler $\leq \pm 5 \%$).

Ausrüstung : Abriebprüfmaschine (z. B. Taber Abraser), Stift-auf-Scheibe-Verschleißtester.

Ist ein Prüfstab erforderlich: Nein.

Die Prüfung der Abriebfestigkeit kann mit Blöcken oder fertigen Proben ($> 10 \times 10 \text{ mm}$) durchgeführt werden, die Oberflächenbeschaffenheit muss jedoch einheitlich sein.

Beispielergebnisse :

YG6: Verschleißrate $\sim 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$.

YN10 (nickelbasiert): Verschleißrate $\sim 0,008 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$ (Wikipedia, 2024).

Normen : ASTM B611 (Abrieb), ASTM G99 (Stift auf Scheibe), GB/T 12444.

2.6 Korrosionsbeständigkeitsprüfung

Definition : Ein Maß für die Beständigkeit von Hartmetall gegenüber chemischer Korrosion mit einer Korrosionsrate von $< 0,01 \text{ mm/Jahr}$.

Testmethode :

Immersionstest (ASTM G31) :

Die Proben wurden 168 Stunden lang bei 60°C in ein korrosives Medium (z. B. 5 % HCl, pH 47) getaucht.

Der Massenverlust (mg) wurde gemessen und die Korrosionsrate (mm/Jahr) berechnet.

Elektrochemische Prüfung :

Mithilfe einer elektrochemischen Arbeitsstation wurden das Korrosionspotential (V) und die Stromdichte ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) gemessen.

Schritt :

Die Proben wurden poliert ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$) und gereinigt (deionisiertes Wasser).

Immersions- oder elektrochemische Prüfung, Aufzeichnung von Masseverlust oder elektrochemischen Parametern.

Berechnen Sie die Korrosionsrate (Fehler $\leq \pm 10 \%$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ausrüstung : Konstanttemperaturbox, elektrochemische Arbeitsstation (wie Gamry Interface 1010).

Ist ein Prüfstab erforderlich: Nein.

Der Korrosionsbeständigkeitstest kann an Proben beliebiger Form ($>10 \times 10$ mm) durchgeführt werden und die Oberfläche muss poliert sein.

Beispielergebnisse :

YG6 (auf Kobaltbasis): Korrosionsrate $\sim 0,01$ mm/Jahr.

YN10 (auf Nickelbasis): Korrosionsrate $< 0,005$ mm/Jahr (Wikipedia, 2024).

Standards : ASTM G31 (Immersion), ASTM G59 (elektrochemisch), GB/T 4334.

2.7 Mikrostrukturanalyse

Definition : Korngröße ($0,52 \mu\text{m}$), Phasenzusammensetzung (WC, Co, η -Phase, freier Kohlenstoff) und Defekte prüfen.

Testmethode :

Optisches Mikroskop/REM :

Die Proben wurden poliert ($R_a < 0,05 \mu\text{m}$) und chemisch geätzt (Murakami-Reagenz, 510 s).

Beobachten Sie Korngröße, Phasenverteilung und Defekte (Poren, η -Phase).

Röntgenbeugung (XRD) :

Erkennen Sie die Phasenzusammensetzung (wie WC, Co, $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) mit einer Empfindlichkeit von 0,1 %.

TEM :

Analysieren Sie die Grenzflächenstruktur (WCCo-Bindungsenergie $\sim 2 \text{ J/m}^2$) mit einer Auflösung von $< 1 \text{ nm}$.

Schritt :

Polieren, Ätzen und Reinigen von Proben.

Zur quantitativen Analyse von Korngröße und Defekten können Mikroskopbeobachtungen oder XRD-Scans verwendet werden.

TEM-Analyseschnittstelle (optional).

Ausrüstung : SEM (z. B. Zeiss Sigma 500), XRD (z. B. Bruker D8), TEM (z. B. FEI Talos F200X).

Ist ein Prüfstab erforderlich: Nein.

Mikrostrukturanalysen können mit kleinen Proben ($> 5 \times 5 \text{ mm}$) durchgeführt werden, die poliert und geätzt werden müssen.

Beispielergebnisse :

YG6: Korngröße $\sim 1 \mu\text{m}$, η -Phase $< 1 \%$.

Ultrafeines Korn: Korngröße $< 0,5 \mu\text{m}$, Gleichmäßigkeit $> 95 \%$ (ScienceDirect, 2020).

Normen : ISO 4499 (Mikrostruktur), ASTM E112 (Korngröße).

2.8 Analyse der chemischen Zusammensetzung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Definition : Erkennt Kohlenstoffgehalt (~6,13 Gew.-%), Kobaltgehalt (615 %) und andere Elemente.

Testmethode :

Kohlenstoff- und Schwefelanalysator: verbrennt Proben, misst den CO₂-Gehalt und erkennt den Gesamtkohlenstoff (Genauigkeit $\pm 0,01$ %).

ICPMS : Lösen Sie die Probe auf und erkennen Sie Elemente wie W, Co, Cr (Genauigkeit $\pm 0,001$ %).

Kobalt-Magnettest (GB/T 3849) :

Die Magnetisierungsintensität der Kobaltphase wird gemessen und indirekt auf den Kohlenstoffgehalt geschlossen (Fehler $\pm 0,05$ %).

Schritt :

Die Proben wurden zerkleinert ($< 100 \mu\text{m}$) und gereinigt.

Durch Kohlenstoff- und Schwefelanalyse oder ICPMS-Erkennung wird der Elementgehalt erfasst.

Magnetische Kobalttests bestätigen die Kohlenstoffbilanz.

Ausrüstung : Kohlenstoff- und Schwefelanalysator (z. B. LECO CS844), ICPMS (z. B. Agilent 7900).

Ist ein Prüfstab erforderlich: Nein.

Zur Analyse der chemischen Zusammensetzung wurden Pulver oder kleine Probenstücke ($> 0,1 \text{ g}$) verwendet.

Beispielergebnisse :

YG6: Kohlenstoff ~6,13 Gew.-%, Kobalt 6 Gew.-%.

YN10: Nickel 10 Gew.-%, Kohlenstoff ~6,1 Gew.-% (Sandvik, 2023).

Standard : GB/T 3849 (Kobaltmagnet), ISO 11876 (chemische Zusammensetzung), ASTM E1479.

2.9 Lackhaftungsprüfung

Definition : Misst die Bindungsstärke zwischen einer Beschichtung (wie TiN, CrN) und einem Hartmetallsubstrat, $> 50 \text{ N}$.

Testmethode :

Kratztest (ASTM C1624) :

Mit einem Kratztester wurde ein Diamanteindringkörper (Radius $200 \mu\text{m}$) über die Beschichtungsfläche gekratzt.

Die kritische Last (L_c, N) wurde aufgezeichnet, wobei $L_c > 50 \text{ N}$ eine gute Haftung anzeigt.

Schritt :

Die Proben wurden poliert ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$) und gereinigt.

Es wurde eine zunehmende Last ($0-100 \text{ N}$) angewendet und die Kratzlänge betrug 5 mm .

Beobachten Sie die Kratzer unter dem Mikroskop und bestimmen Sie L_c (Fehler $< \pm 5 \text{ N}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ausrüstung : Kratztester (z. B. Anton Paar RST³).

Ist ein Prüfstab erforderlich: Nein.

Für den Lackhaftungstest wird eine Lackprobe ($>10 \times 10$ mm) mit ebener Oberfläche verwendet.

Beispielergebnisse :

YG6+TiN: Lc ~60 N.

YN10+CrN: Lc ~70 N (Sandvik, 2023).

Normen : ASTM C1624 (Kratz), ISO 20502.

2.10 Prüfung der magnetischen Eigenschaften

Definition : Misst die Magnetisierung der Kobaltphase und schätzt indirekt den Kohlenstoffgehalt und die Phasenzusammensetzung.

Testmethode :

Kobalt-Magnettest (GB/T 3849) :

Die Probenmagnetisierung (emu/g) wurde mit einem Magnetometer gemessen.

Eine niedrige Magnetisierung weist auf die η -Phase hin, eine hohe Magnetisierung auf freien Kohlenstoff.

Schritt :

Die Proben wurden gewaschen (Ethanol) und getrocknet.

Die Magnetometermessung wurde dreimal wiederholt und der Durchschnittswert ermittelt.

Vergleichen Sie mit der Standardkurve und ermitteln Sie den Kohlenstoffgehalt (Fehler $\pm 0,05$ %).

Ausrüstung : Magnetometer (z. B. Lakeshore 7404).

Ist ein Prüfstab erforderlich: Nein.

Die magnetischen Eigenschaften wurden anhand kleiner Proben ($>5 \times 5$ mm) getestet.

Beispielergebnisse :

YG6: Magnetisierung ~150 emu/g, Kohlenstoff ausgeglichen.

Entkohlte Probe: Magnetisierungsintensität ~120 emu/g (ScienceDirect, 2020).

Standard : GB/T 3849 (Kobaltmagnet), ISO 3326.

3. Tests, die ein Teststäbchen erfordern

Für die folgenden Tests ist die Verwendung von Standardprüfstäben erforderlich, da sie strenge Anforderungen an die Probengeometrie und den Oberflächenzustand stellen:

Biegefestigkeit (TRS) :

Um eine gleichmäßige Spannungsverteilung sicherzustellen und Maßabweichungen auszuschließen, sind Prüfstäbe erforderlich.

Abmessungen des Prüfstabs: Typischerweise $5,0 \times 5,0 \times 35,0$ mm (ISO 3327).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bruchzähigkeit (KIC) :

Um eine kontrollierbare Rissausbreitung zu gewährleisten, muss der Prüfstab vorgekerbt werden.
Abmessungen des Prüfstabs: typischerweise $4,0 \times 8,0 \times 32,0$ mm, Kerbtiefe $0,20,3$ mm (ISO 28079).
Für andere Tests (Härte, Dichte, Verschleißfestigkeit usw.) sind keine Prüfstäbe erforderlich und es können Fertigprodukte oder Proben beliebiger Form verwendet werden, wodurch die Vorbereitungskosten gesenkt werden.

4. Anforderungen an Hartmetallprüfstäbe

Die Vorbereitung des Prüfstabs wirkt sich direkt auf die Prüfgenauigkeit aus und muss strenge Anforderungen an Größe, Oberfläche und Vorbereitung erfüllen. Im Folgenden finden Sie detaillierte Spezifikationen:

4.1 Größenanforderungen

Biegefestigkeitsprüfstab (ISO 3327, GB/T 3851) :

Abmessungen : $5,0 \pm 0,1$ mm (Breite) $\times$ $5,0 \pm 0,1$ mm (Höhe) $\times$ $35,0 \pm 0,5$ mm (Länge).

Toleranz : Breite und Höhe $\pm 0,1$ mm, Länge $\pm 0,5$ mm, Parallelität $< 0,05$ mm.

Kanten : Fase $0,20,3$ mm (45°), um Spannungskonzentrationen zu vermeiden.

Prüfstab für die Bruchzähigkeit (ISO 28079) :

Abmessungen : $4,0 \pm 0,1$ mm (Breite) $\times$ $8,0 \pm 0,1$ mm (Höhe) $\times$ $32,0 \pm 0,5$ mm (Länge).

Kerbe : Tiefe $0,2-0,3$ mm, Breite $< 0,1$ mm (EDM- oder Laserschneiden).

Toleranz : Breite und Höhe $\pm 0,1$ mm, Kerbtiefe $\pm 0,02$ mm.

Weitere Anforderungen :

Die Oberfläche des Prüfstabes weist keine Risse, Poren oder Einschlüsse auf und die mit bloßem Auge erkennbaren Defekte sind kleiner als $0,1$ mm.

Maßhaltigkeit: Chargenabweichung $< 0,05$ mm.

4.2 Oberflächenanforderungen

Oberflächenrauheit :

$R_a < 0,4$ μ m (Biegefestigkeit), $R_a < 0,2$ μ m (Bruchzähigkeit).

Durchführung : Diamantschleifen (Körnung 510 μ m), Polieren (Diamantpaste, 13 μ m).

Oberflächenbehandlung :

Entfernen Sie die Verarbeitungsspannungsschicht (< 10 μ m) und vermeiden Sie Mikrorisse.

Waschen (Ethanol-Ultraschallbehandlung, 5 Min.) und trocknen (80°C , 30 Min.).

prüfen :

Bei der Betrachtung unter dem Mikroskop (50 -fache Vergrößerung) waren keine Kratzer,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verbrennungen oder Eigenspannungen zu erkennen.

4.3 Vorbereitungsanforderungen

Rohstoffe und Sintern :

Verwenden Sie dieselbe Formel wie für das fertige Produkt (z. B. YG6, YG15), um eine gleichbleibende Leistung sicherzustellen.

Vakuumsintern (1350–1450 °C, $<10^{-3}$ Pa) oder HIP (1350 °C, 100 MPa), Porosität $<0,01$ % (ISO 3326:2013).

Der Kohlenstoffgehalt wird auf $\pm 0,1$ % kontrolliert, um die η -Phase oder freien Kohlenstoff zu vermeiden (GB/T 3849).

Verarbeitung :

Drahtschneiden oder Präzisionsschleifen, Fehler $<\pm 0,05$ mm.

Kerbpräparation (Bruchzähigkeit): EDM (Stromstärke < 1 A) oder Laser (Leistung < 10 W).

Chargenkontrolle :

10 % (> 5 Stück) der Teststäbe in jeder Charge werden stichprobenartig geprüft. Die Größenabweichung beträgt $< 0,05$ mm und die Leistungsabweichung < 5 %.

Notieren Sie die Sinterparameter (Temperatur ± 5 °C, Atmosphäre $< 0,01$ % Sauerstoff).

4.4 Qualitätsprüfung

Dimensionserkennung :

Verwenden Sie einen digitalen Mikrometer oder Laser-Entfernungsmesser mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01$ mm.

Überprüfen Sie Parallelität und Geradheit ($< 0,05$ mm).

Mikrostruktur :

REM-Untersuchung der Poren, η -Phase, freier Kohlenstoff, Anteil < 1 % (ISO 4499).

Korngrößengleichmäßigkeit > 95 %, typisch $0,52$ μm .

Leistungsüberprüfung :

Härte (HV30): Fehler $<\pm 50$ HV.

Dichte: Fehler $<\pm 0,01$ g/cm³.

Kobalt-Magnettest: Fehler beim Kohlenstoffgehalt $<\pm 0,05$ %.

4.5 Lagerung und Transport

Lagerung :

Luftfeuchtigkeit < 40 %, Temperatur 20 ± 5 °C, Oxidation oder Feuchtaufnahme vermeiden.

Staubdichte Verpackung (Kunststoffbox) zur Vermeidung von Oberflächenkratzern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Transport :

Stoßfeste Verpackung (Schaumstoffpolster) zur Vermeidung von Kantenschäden.
Mit Prüfbericht (Maße, Härte, Gefüge).

Datenunterstützung :

Toleranz der Prüfstababmessungen: $\leq \pm 0,1$ mm (ISO 3327).
Oberflächenrauheit: $R_a < 0,4$ μm , Leistungsabweichung < 5 % (Sandvik, 2023).
HIP: Porosität $< 0,01$ %, Festigkeit um 15 % erhöht (ScienceDirect, 2020).

5. Praktische Anwendungsfälle

YG6-Werkzeugtest :

Prüfungen : Härte (HV30, 1500 HV), Biegefestigkeit (2,0 GPa), Verschleißfestigkeit (0,01 $\text{mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$).

Prüfstab : Prüfstab für Biegefestigkeit (5×5×35 mm), $R_a < 0,4$ μm .

Ergebnis : Die Lebensdauer beim Schneiden von Gusseisen beträgt 2 Stunden, die Leistung ist akzeptabel.

YG15 Schimmeltest :

Tests : Bruchzähigkeit (KIC 12 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$), Dichte (14,0 g/cm^3), Korrosionsbeständigkeit (0,01 mm/Jahr).

Prüfstab : Prüfstab zur Bruchzähigkeit (4 × 8 × 32 mm, Kerbe 0,25 mm).

Ergebnis : Die Stempellebensdauer beträgt 120.000 Mal, was dem Standard entspricht.

YN10 Schimmeltest :

Tests : Korrosionsbeständigkeit ($< 0,005$ mm/Jahr), Beschichtungshaftung (Lc 70 N), Mikrostruktur (Körner ~ 1 μm).

Prüfstab : Keiner, der Test wurde mit einer polierten Probe (10×10 mm) durchgeführt.

Ergebnis : Die Lebensdauer in saurer Umgebung beträgt 1 Jahr und die Leistung ist ausgezeichnet.

Prüfung von Werkzeugen mit ultrafeinem Korn :

Prüfungen : Härte (2000 HV), Biegefestigkeit (2,2 GPa), Korngröße ($< 0,5$ μm).

Prüfstab : Prüfstab für Biegefestigkeit (5 × 5 × 35 mm).

Ergebnis : Die Schnittlebensdauer von Edelstahl beträgt 4 Stunden und der Vorteil der ultrafeinen Körnung ist offensichtlich.

Datenunterstützung :

YG6: Härte 1500 HV, Biegefestigkeit 2,0 GPa (Sandvik, 2023).

YN10: Korrosionsrate $< 0,005$ mm/Jahr (Wikipedia, 2024).

Ultrafeine Körner: Körner $< 0,5$ μm , KIC ~ 10 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ (ScienceDirect, 2020).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Fazit

Zu den Leistungstests von Hartmetallen gehören Härte (Vickers-Härteprüfgerät, HV30), Dichte (Archimedes-Verfahren), Biegefestigkeit (Dreipunktbiegung), Bruchzähigkeit (SENB), Verschleißfestigkeit (Verschleiß/Stift-Scheibe), Korrosionsbeständigkeit (Immersion/elektrochemisch), Mikrostruktur (REM/XRD/TEM), chemische Zusammensetzung (Kohlenstoff-Schwefel-Analyse/ICPMS), Beschichtungshaftung (Kratzfestigkeit) und magnetische Eigenschaften (Kobalt-Magnetprüfung). Für **Biegefestigkeit** und **Bruchzähigkeit** werden standardisierte Prüfstäbe benötigt. Für weitere Prüfungen können fertige Produkte oder polierte Proben verwendet werden.

Anforderungen an den Prüfstab :

Abmessungen : Biegefestigkeit (5×5×35 mm, Toleranz ±0,1 mm), Bruchzähigkeit (4×8×32 mm, Kerbe 0,20,3 mm).

Oberfläche : Ra <0,4 µm (Biegefestigkeit), Ra <0,2 µm (Zähigkeit), keine Risse/Poren.

Herstellung : Vakuumsintern/HIP, Porosität <0,01 %, Kohlenstoffgehalt ±0,1 %.

Überprüfung : Maßabweichung <0,05 mm, Leistungsabweichung <5 %.

Der Test folgt GB/T 3849, ISO 4499, ASTM B406 und anderen Normen, um Genauigkeit und Konsistenz zu gewährleisten. Die Optimierung der Prüfstabvorbereitung (z. B. HIP, Präzisionsschleifen) und der Prüfprozesse (z. B. Online-Überwachung) kann die Zuverlässigkeit der Ergebnisse verbessern, mit einer Fehlerquote von <5 %. Zukünftig werden automatisierte Tests und intelligente Analysen die Effizienz und Genauigkeit weiter verbessern.

Standard :

GB/T 7997: Vickershärte.

GB/T 3851: Biegefestigkeit.

GB/T 3849: Kobalt-Magnettest.

ISO 3327: Prüfstäbe zur Biegefestigkeit.

ISO 28079: Bruchzähigkeit.

ISO 4499: Mikrostruktur.

ASTM B406: Biegefestigkeit.

ASTM G31: Korrosionsbeständigkeit.

ASTM C1624: Beschichtungshaftung.

ISO 3326:2013: Porosität.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang :

Spezifikationen, Leistungsanforderungen und Vorbereitung von Hartmetall-Teststäben

Hartmetall-Prüfstäbe sind wichtige Proben zum Testen von Eigenschaften wie Querschubfestigkeit (TRS) und Bruchzähigkeit (KIC), und ihr Herstellungsprozess muss strenge Spezifikationen und Leistungsanforderungen erfüllen. Für **Nano-Prüfstäbe** (Korngröße $< 0,5 \mu\text{m}$), **spezifische Güteoptimierungen** (wie YG6, YG15, ultrafeinkörnige Güten) und **nicht standardmäßige Prüfstäbe** (kundenspezifische Größe oder Form) muss der Prozess weiter verfeinert werden, um den Eigenschaften von Nanopulvern, den gütespezifischen Leistungsanforderungen und den Herausforderungen bei der Verarbeitung nicht standardmäßiger Geometrien gerecht zu werden. Dieser Artikel befasst sich eingehend mit den Prozessdetails der Herstellung von Nano-Prüfstäben, der spezifischen Güteoptimierung und nicht standardmäßigen Prüfstäben und kombiniert mikroskopische Mechanismen, die neueste Forschung (wie Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2020; Wikipedia, 2024) und Industriestandards (wie GB/T 3851, ISO 3327, ISO 28079) – alles auf Chinesisch, um sicherzustellen, dass der Inhalt genau, detailliert und faszinierend ist.

1. Übersicht

Hartmetall-Prüfstäbe werden für Prüfungen der Biegezugfestigkeit ($1,52,5 \text{ GPa}$) und Bruchzähigkeit ($812 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) verwendet. Die Standardgrößen betragen $5 \times 5 \times 35 \text{ mm}$ (Biegung) oder $4 \times 8 \times 32 \text{ mm}$ (Zähigkeit, Kerbe $0,20,3 \text{ mm}$). **Nano-Prüfstäbe** sind für ultrafeinkörniges Hartmetall (Körner $< 0,5 \mu\text{m}$), und Kornwachstum und Defekte (wie η -Phase, freier Kohlenstoff) müssen kontrolliert werden. Die **Optimierung der spezifischen Güte** muss den Leistungsanforderungen von YG6 (Allzweckwerkzeug), YG15 (Form mit hoher Zähigkeit) oder ultrafeinkörnigen Güten (wie YG8N) entsprechen. **Nicht standardmäßige Prüfstäbe** müssen in Größe oder Form individuell angepasst werden, um an spezielle Prüfungen oder Anwendungsszenarien angepasst zu werden. Der Vorbereitungsprozess umfasst das Dosieren, Mischen, Pressen, Sintern, Verarbeiten und Prüfen. Diese Schritte müssen präzise gesteuert werden, um die Konsistenz der Prüfstableistung (Abweichung $< 5 \%$) zu gewährleisten. Zur weiteren Verfeinerung wird der folgende Prozess in drei Teile unterteilt.

2. Nanorod-Vorbereitung

Nano-Prüfstäbe bestehen aus ultrafeinkörnigem Hartmetall (Korngröße $< 0,5 \mu\text{m}$, Härte $1800\text{--}2200 \text{ HV}$) und finden breite Anwendung in hochpräzisen Werkzeugen (z. B. in der Luftfahrtindustrie) und verschleißfesten Beschichtungssubstraten. Die Herstellung von Nanopulvern erfordert die Lösung der Probleme hoher Aktivität, leichter Agglomeration und Kornwachstum.

2.1 Zutaten

Rohstoff :

WC-Pulver : Korngröße $0,10,4 \mu\text{m}$ (Reinheit $> 99,95\%$), Kohlenstoffgehalt $6,13 \pm 0,05 \text{ Gew.}\%$,

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

Sauerstoffgehalt <0,03 %.

Kobaltpulver : Partikelgröße 0,51 μm (Reinheit > 99,9 %), Gehalt 610 Gew. % (z. B. YG8N).

Korninhibitoren : Cr₃C₂ (0,51 Gew.-%), VC (0,20,5 Gew.-%), hemmen das Kornwachstum um 20–30 %.

Ruß : <0,05 Gew.-%, präzise eingestellte Kohlenstoffbilanz (Fehler <0,01 %).

Verhältnis :

Genaueres Wiegen ($\pm 0,0005$ g), Fehler <0,005 %.

Kontrolle des Kohlenstoffgehalts: $\pm 0,03$ %, Vermeidung der η -Phase (Co₃W₃C) oder des freien Kohlenstoffs.

Ausrüstung : Hochpräzisionswaage (Mettler Toledo XPR6), Handschuhbox mit Inertatmosphäre (O₂ <0,01 %).

Beispiel : YG8N (8 % Co): WC 91,5 Gew.-%, Co 8 Gew.-%, Cr₃C₂ 0,4 Gew.-%, VC 0,1 Gew.-% (Sandvik, 2023).

2.2 Mischen

Verfahren :

Nassmahlen : Hochenergie-Planetenkugelmühle (1620 h, 0,2 μm), das Medium ist wasserfreier Ethanol (Feststoffgehalt 6570 %).

Bindemittel : modifiziertes PEG (11,5 %, Restkohlenstoff < 0,03 %) oder wasserbasiertes Nanobindemittel (0,51 %) zur Vermeidung von Agglomeration.

Dispergiermittel : Stearinsäure (0,10,3 %), verbessert die Partikelgleichmäßigkeit um 15 %.

Parameter : Kugel-Material-Verhältnis 10:1, Rührgeschwindigkeit 800–1200 U/min, Temperatur <30 °C (Oxidation vermeiden).

Ziel :

Partikelgleichmäßigkeit > 98 %, D₅₀ 30100 μm , Agglomerationsrate < 1 %.

Viskosität der Aufschlämmung 150250 mPa·s, Fließfähigkeit <20 s/50 g (GB/T 1482).

Ausstattung : Hochenergie-Kugelmühle (Retsch PM400), Ultraschall dispergierer (Leistung 500 W).

Beispiel : YG8N: 1 % PEG, 18 Stunden lang in einer Kugelmühle gemahlen, D₅₀ ~50 μm , Homogenität >98 % (ScienceDirect, 2020).

2.3 Unterdrückung

Verfahren :

Sprühtrocknung : Herstellung sphärischer Partikel (Sphärizität > 0,95), D₅₀ 30100 μm , Fließfähigkeit < 20 s/50 g.

Kaltisostatisches Pressen (CIP) : Druck 250–350 MPa, Knüppeldichte > 55 % der theoretischen Dichte.

Form : Hochpräzise Wolframstahlform, Maßtoleranz $\pm 0,02$ mm, unter Berücksichtigung der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sinterschrumpfung (2225 %).

Abmessungen : Biegeprüfstabrohling ~6,3×6,3×44 mm, Zähigkeitsprüfstab ~5,0×10,0×40 mm.

Ziel :

Grünfestigkeit >6 MPa, keine Risse/Delamination.

Die Gleichmäßigkeit des Rohlings liegt bei >95%, die Dichteabweichung bei <1%.

Ausrüstung : Sprühtrocknungsturm (GEA Niro), kaltisostatische Presse (EPSI CIP400).

Beispiel : YG8N: CIP 300 MPa, Grünfestigkeit ~7 MPa, Schrumpfung 23 %.

2.4 Sintern

Verfahren :

Vakuumsintern :

Temperatur: 1320–1380 °C (± 3 °C), niedriger als normal (1350–1450 °C), wodurch das Kornwachstum um 20 % reduziert wird.

Vakuumgrad: $< 5 \times 10^{-4}$ Pa, Sauerstoff <0,005 %, Entkohlung vermeiden.

Gestuftes Aufheizen: 250–350 °C (Entbinderung, Restkohlenstoff < 0,03 %), 1320 °C (Flüssigphasensintern, Haltezeit 4560 Minuten).

Heißisostatisches Pressen (HIP) :

1320°C, 120–150 MPa, 30 Min.

Beseitigung von Porosität, Porosität <0,005 % (ISO 4505).

Atmosphärenkontrolle : CO/CO₂ <0,05 %, H₂-Durchflussrate 0,30,5 l/min (falls erforderlich).

Ziel :

Korngröße: <0,5 µm, Gleichmäßigkeit >98 %.

Dichte: 14.515,0 g/cm³, Härte 1800–2200 HV, η -Phase/freier Kohlenstoff <0,5 %.

Ausrüstung : Vakuumsinterofen (ALD Vacuum Technologies), HIP-Ausrüstung (Quintus QIH122).

Beispiel : YG8N: 1350 °C Vakuumsintern + HIP, Korngröße ~0,4 µm, Härte 2000 HV (Sandvik, 2023).

2.5 Verarbeitung

Verfahren :

Grobbearbeitung : Drahtschneiden (Fehler $\leq \pm 0,05$ mm), Entfernen der Sinterhaut (0,10,3 mm).

Endbearbeitung : Ultrapräziser Diamantschliff (Korngröße 35 µm), Fehler $\leq \pm 0,02$ mm.

Polieren : Nano-Diamantpaste (0,51 µm), Ra <0,2 µm (Biegefestigkeit), Ra <0,1 µm (Zähigkeit).

Kerbe (Zähigkeitsprüfstab) :

Femtosekundenlaserschneiden: Leistung <5 W, Tiefe 0,20,3 mm ($\pm 0,01$ mm), Breite <0,05 mm.

Vermeiden Sie Wärmeeinflusszonen (<1 µm) und bei der SEM-Untersuchung wurden keine Mikrorisse gefunden.

Fase : Poliert, 0,20,3 mm ($45^\circ \pm 3^\circ$).

Ziel :

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

Die Maßtoleranz beträgt $\pm 0,05$ mm und es befindet sich keine Spannungsschicht auf der Oberfläche ($< 5 \mu\text{m}$).

Kerbgengenauigkeit $\pm 0,01$ mm, Rissausdehnungsabweichung $< 3 \%$.

Ausrüstung : Ultrapräzisionsschleifmaschine (Moore Nanotech 350FG), Femtosekundenlaser (Coherent Monaco), SEM (Zeiss Gemini 500).

Beispiel : YG8N: $R_a < 0,2 \mu\text{m}$, Kerbe $0,25 \pm 0,005$ mm, keine thermischen Schäden.

2.6 Qualitätsprüfung

Abmessungen : Laser-Entfernungsmesser (Genauigkeit $\pm 0,005$ mm), Toleranz $\pm 0,05$ mm, Parallelität $< 0,03$ mm.

Oberfläche : Weißlichtinterferometrie ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$), SEM (Kerbtiefe $\pm 0,01$ mm, keine Risse).

Mikrostruktur :

TEM (Korngröße $0,30,5 \mu\text{m}$, Homogenität $> 98\%$).

XRD (η -Phase/freier Kohlenstoff $< 0,5 \%$, Empfindlichkeit $0,05 \%$).

Porosität: $< 0,005 \%$ (ISO 4499).

Leistung :

Härte: 1800–2200 HV (± 30 HV, GB/T 7997).

Dichte: $14,515,0 \text{ g/cm}^3$ ($\pm 0,005 \text{ g/cm}^3$, GB/T 3850).

Biegefestigkeit: $2,02,5 \text{ GPa}$ ($\pm 3 \%$, GB/T 3851).

Bruchzähigkeit: $810 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ ($\pm 5 \%$, ISO 28079).

Kobalt-Magnettest: Kohlenstoffgehalt $\pm 0,03 \%$ (GB/T 3849).

Stichprobenprüfung : $> 15 \%$ (> 10 Stück) pro Charge, Leistungsabweichung $< 3 \%$.

Ausrüstung : TEM (FEI Talos F200X), Weißlichtinterferometer (Zygo NewView 9000), Vickers-Härteprüfer (Wilson VH3300).

Beispiel : YG8N: Härte 2000 ± 20 HV, Korngröße $0,4 \mu\text{m}$, η -Phase $< 0,3 \%$ (ScienceDirect, 2020).

2.7 Herausforderungen und Optimierung

Herausforderung :

Nanopulver agglomerieren leicht und die Gleichmäßigkeitsabweichung beträgt $> 5 \%$.

Eine hohe Aktivität führt zur Oxidation (Sauerstoffanstieg um $0,02 \%$) und einem um 10% erhöhten Risiko einer Dekarbonisierung.

Die gesinterten Körner werden größer ($> 0,5 \mu\text{m}$) und die Härte nimmt um 510% ab.

Optimierung :

Ultraschalldispersion : 500 W , 10 Min. , die Agglomerationsrate sank auf $< 0,5 \%$.

Inertschutz: Argon-Atmosphäre ($\text{O}_2 < 0,005 \%$) während des gesamten Misch-/Chargenprozesses.

Niedertemperatursintern + Inhibitor : $1320 \text{ }^\circ\text{C}$, $\text{Cr}_3\text{C}_2 + \text{VC}$, Kornkontrolle $< 0,5 \mu\text{m}$.

Online-Überwachung : Infrarot-Temperaturmessung ($\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$), Massenspektrometer (CO/CO_2)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<0,01 %).

Wirkung :

Gleichmäßigkeit um 20 % erhöht, Kornabweichung <5 %.

η -Phase/freier Kohlenstoff führt zu einer 5%igen Härtesteigerung (Sandvik, 2023).

3. Spezifische Sortenoptimierung

Verschiedene Hartmetallsorten (z. B. YG6, YG15, ultrafeinkörniges YG8N) weisen unterschiedliche Kobaltgehalte, Korngrößen und Anwendungsszenarien auf. Daher muss der Prüfstabherstellungsprozess optimiert werden, um den Leistungsanforderungen gerecht zu werden. Im Folgenden finden Sie Optimierungslösungen für drei typische Sorten.

3.1 YG6 (Allzweckwerkzeug, 6% Co)

Leistungsziele :

Härte: 1500 ± 50 HV.

Biegefestigkeit: $2,0 \pm 0,1$ GPa.

Bruchzähigkeit: $8 \pm 0,5$ MPa·m^{1/2}.

Korn: 11,5 μ m, η -Phase/freier Kohlenstoff <1 %.

Dichte: $14,9 \pm 0,01$ g/cm³.

Zutaten :

WC: 94 Gew.-% (12 μ m), Co: 6 Gew.-%, Cr₃C₂: 0,3 Gew.-% (optional).

Kohlenstoffgehalt: $6,13 \pm 0,05$ Gew.-%, Fehler <0,01 %.

Mischen :

Nassmahlung: 1214 h, PEG 1,5 %, D50 80150 μ m.

Ethanolmedium, Feststoffgehalt 70 %, Fließfähigkeit <25 s/50 g.

unterdrücken :

CIP: 200–250 MPa, Grünintensität > 5 MPa.

Rohling: 6,2×6,2×43 mm (Biegefestigkeit), Schrumpfrate 20 %.

Sintern :

Vakuumsintern: 1400 °C (± 5 °C), 1 Stunde halten, <10⁻³ Pa .

HIP: 1400 °C, 100 MPa, Porosität <0,01 %.

Verarbeitung :

Schleifen: Diamantschleifscheibe (510 μ m), Ra <0,4 μ m .

Kerbe: Elektrischer Funke ($0,25 \pm 0,02$ mm), Ra <0,2 μ m.

verifizieren :

Abmessungen: $\pm 0,05$ mm, Härte 1500 ± 30 HV.

SEM: Korngröße ~1,2 μ m, η -Phase <1 %.

Kobaltmagnet: Kohlenstoffgehalt $\pm 0,05$ %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beispiel : YG6-Teststab: Biegefestigkeit 2,0 GPa, Härte 1500 HV, Schnittlebensdauer 2 Stunden (Sandvik, 2023).

3.2 YG15 (hochzähe Form, 15 % Co)

Leistungsziele :

Härte: 1400 ± 50 HV.

Biegefestigkeit: $2,5 \pm 0,1$ GPa.

Bruchzähigkeit: $12 \pm 0,5$ MPa·m^{1/2}.

Korn: 1,52 µm, η-Phase/freier Kohlenstoff <1 %.

Dichte: $14,0 \pm 0,01$ g/cm³.

Zutaten :

WC: 85 Gew.-% (1,52,5 µm), Co: 15 Gew.-%, Cr₃C₂: 0,5 Gew.-%.

Kohlenstoffgehalt: $6,13 \pm 0,05$ Gew.-%, Ruß <0,1 Gew.-%.

Mischen :

Nassmahlung: 1416 h, PVA 1%, D50 100200 µm .

Ethanol/Wasser (1:1), Feststoffgehalt 75 %, Fließfähigkeit <28 s/50 g.

unterdrücken :

CIP: 250–300 MPa, Grünintensität > 8 MPa.

Rohling: 5,0 × 10,0 × 40 mm (Zähigkeit), Schrumpfrate 18 %.

Sintern :

Vakuumsintern: 1450 °C (± 5 °C), 1,5 Stunden halten, $<10^{-3}$ Pa .

HIP: 1450 °C, 120 MPa, Porosität <0,01 %.

Verarbeitung :

Schleifen: Ra <0,2 µm, Funkenkerbe ($0,25 \pm 0,01$ mm).

Fase: 0,3 mm, Polierung Ra <0,1 µm.

verifizieren :

Abmessungen: $\pm 0,05$ mm, Härte 1400 ± 30 HV.

SEM: Korngröße ~1,8 µm, Porengröße <0,01 %.

Kobaltmagnet: Kohlenstoffgehalt $\pm 0,05$ %.

Beispiel : YG15-Teststab: KIC 12 MPa·m^{1/2}, Stempellebensdauer 120.000 Mal (ScienceDirect, 2020).

3.3 Ultrafeinkörnung YG8N (Luftfahrtwerkzeug, 8% Co)

Leistungsziele :

Härte: 2000 ± 50 HV.

Biegefestigkeit: $2,2 \pm 0,1$ GPa.

Bruchzähigkeit: $9 \pm 0,5$ MPa·m^{1/2}.

Korn: <0,5 µm, η-Phase/freier Kohlenstoff <0,5 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dichte: $14,7 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Zutaten :

WC: 91,5 Gew.-% ($0,20,4 \mu\text{m}$), Co: 8 Gew.-%, Cr₃C₂: 0,4 Gew.-%, VC: 0,1 Gew.-%.
Kohlenstoffgehalt: $6,13 \pm 0,03 \text{ Gew.-%}$, Fehler $<0,005 \%$.

Mischen :

Hochenergie-Kugelmahlen: 1820 h, modifiziertes PEG 1 %, D50 30100 μm .
Wasserfreier Ethanol, Feststoffgehalt 65 %, Ultraschalldispersion (500 W, 10 min).

Unterdrücken :

Cip: 300–350 MPa, Grünintensität $> 7 \text{ MPa}$.
Rohling: $6,3 \times 6,3 \times 44 \text{ mm}$, Schrumpfrate 23 %.

Sintern :

Vakuumsintern: $1350 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$), 45 Minuten halten, $<5 \times 10^{-4} \text{ Pa}$.
Hüfte: $1350 \text{ }^\circ\text{C}$, 150 MPa, Porosität $<0,005 \%$.

Verarbeitung :

Ultrapräzisionsschleifen: $ra < 0,2 \mu\text{m}$, Femtosekundenlaserkerbe ($0,25 \pm 0,005 \text{ mm}$).
Polieren: $ra < 0,1 \mu\text{m}$, keine Wärmeeinflusszone.

Verifizieren :

Abmessungen: $\pm 0,02 \text{ mm}$, Härte $2000 \pm 20 \text{ HV}$.
Tem: Korngröße $\sim 0,4 \mu\text{m}$, Homogenität $> 98\%$.
Kobaltmagnet: Kohlenstoffgehalt $\pm 0,03 \%$.
Beispiel : YG8N-Teststab: Härte 2000 HV, Schnittlebensdauer von Edelstahl 4 Stunden (Sandvik, 2023).

3.4 Optimierungsstrategie

YG6 :

Wichtige Punkte: Kosten- und Leistungsverhältnis, PEG-Bindemittel (niedriger Kohlenstoffrückstand $<0,05 \%$), Sintern bei $1400 \text{ }^\circ\text{C}$.
Effekt: Kostensenkung um 15 %, Biegefestigkeitsabweichung $<3 \%$.

YG15 :

Wichtige Punkte: Hohe Zähigkeit, PVA-Binder (Grünfestigkeit $> 8 \text{ MPa}$), $1450 \text{ }^\circ\text{C}$ HIP.
Wirkung: KIC um 10 % erhöht, Risswachstumsbeständigkeit um 15 % erhöht.

YG8N :

Wichtige Punkte: Kornkontrolle ($<0,5 \mu\text{m}$), Cr₃C₂+VC-Inhibitor, Sintern bei niedriger Temperatur ($1350 \text{ }^\circ\text{C}$).
Wirkung: Härte um 5 % erhöht, Narbabweichung $< 5 \%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Datenunterstützung :

YG6: Biegefestigkeit 2,0 GPa, Kostensenkung 15 % (Sandvik, 2023).

YG15: KIC 12 MPa·m^{1/2}, Lebensdauer um 20 % erhöht (ScienceDirect, 2020).

YG8N: Korngröße 0,4 µm, Härte 2000 HV (Wikipedia, 2024).

4. Herstellung von nicht standardisierten Prüfstäben

Nicht-standardisierte Prüfstäbe sind Prüfstäbe, deren Größe, Form oder Kerbe vom Standard (z. B. ISO 3327, ISO 28079) abweicht und die für spezielle Tests (z. B. Mikrowerkzeuge, komplexe Formen) oder Forschung und Entwicklung verwendet werden. Bei der Vorbereitung müssen sowohl die Anpassungsanforderungen als auch die Leistungskonsistenz berücksichtigt werden.

4.1 Anwendungsszenarien

Mikroprüfstab :

Abmessungen: zB 2×2×20 mm (Mikrowerkzeugtest).

Anwendung: Zum Prüfen der Biegefestigkeit kleiner Hartmetallteile wie z. B. zahnärztlicher Instrumente.

Großer Prüfstab :

Größe: zB 8×8×50 mm (Bergbauwerkzeug).

Anwendung: Zum Testen der Zähigkeit großer Formen oder Gesteinsbohrwerkzeuge.

Komplexe Formen :

Form: zylindrisch (5 mm Durchmesser, 30 mm Länge) oder trapezförmiger Querschnitt.

Anwendung: Zur Simulation der mechanischen Eigenschaften realer Werkstücke (z. B. Drahtziehsteine).

Nicht standardmäßige Lücke :

Kerbe: V-förmig, U-förmig oder mehrere Kerben (Tiefe 0,10,5 mm).

Anwendung: Zur Untersuchung des Risswachstums oder des Ermüdungsverhaltens.

4.2 Spezifikationsanforderungen

Größe :

Toleranz: ±0,05 mm (Mikro), ±0,1 mm (Groß).

Parallelität: <0,03 mm, Rechtwinkligkeit: <0,05 mm.

Maßanfertigung: nach Prüfvorgaben (z.B. Stützabstand 1540 mm).

Oberfläche :

Ra <0,2 µm (Mikro/Kerbe), ra <0,4 µm (Makro).

Keine Mikrorisse/Spannungsschichten (<5 µm), SEM-Untersuchung (100×).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Lücke :

Tiefe: 0,10,5 mm ($\pm 0,01$ mm).

Breite: $< 0,05$ mm (Mikro), $< 0,1$ mm (normal).

Form: V-förmig (60°), U-förmig (Radius 0,1 mm) oder individuell.

Aussehen :

Keine Poren/Einschlüsse, Defekte $< 0,05$ mm (Mikro), $< 0,1$ mm (Makro).

Fase: 0,10,5 mm (je nach Größe).

4.3 Vorbereitungsprozess

Zutaten :

Entspricht den Standardprüfstäben und den entsprechenden Güteklassen (z. B. YG6, YG8N).

Mikroprüfstab: Nanopulver ($0,20,4 \mu\text{m}$), Kohlenstofffehler $< 0,03$ %.

Großer Teststab: Grobkorn ($23 \mu\text{m}$), Kobalt 1015 Gew.-%.

Mischen :

Mikro: Hochenergie-Kugelmahlen (20 h), D50 $2050 \mu\text{m}$, Ultraschalldispargierung.

Große Größe: konventionelles Kugelmahlen (12 Stunden), D50 $100200 \mu\text{m}$, PVA 12 %.

Ausstattung: Hochenergie-Kugelmühle (Retsch PM400), Ultraschallgerät (500 W).

Unterdrücken :

Mikro: Präzisionsformung (500 MPa), Formtoleranz $\pm 0,01$ mm.

Große Größe: CIP (200–300 MPa), Knüppelgleichmäßigkeit > 95 %.

Kundenspezifische Formen: 3D-gedruckte Formen oder CNC-Gravur (Fehler $< 0,02$ mm).

Ausstattung: Präzisionspresse (Carver 4350), CNC (DMG Mori NTX1000).

Sintern :

Mikro: Niedertemperatursintern ($1300\text{--}1350^\circ\text{C}$), $< 5 \times 10^{-4}$ Pa, Korngröße $< 0,5 \mu\text{m}$.

Große Größe: $1450\text{--}1500^\circ\text{C}$, HIP (150 MPa), Porosität $< 0,01$ %.

Ausrüstung: Vakuumsinterofen (ALD), HIP (Quintus QIH232).

Verarbeitung :

Mikro: Ultrapräzisionsschleifen ($R_a < 0,1 \mu\text{m}$), Femtosekundenlaserkerben (Tiefe $\pm 0,005$ mm).

Große Größen: konventionelles Schleifen ($R_a < 0,4 \mu\text{m}$), Funkenkerben ($\pm 0,02$ mm).

Komplexe Formen: Fünfschichtige CNC-Bearbeitung (Fehler $< 0,02$ mm), elektrochemisches Polieren ($R_a < 0,1 \mu\text{m}$).

Ausrüstung: Fünfschichtige CNC (Haas UMC750), Femtosekundenlaser (Coherent Monaco).

Verifizieren :

Abmessungen: 3D-Scanner (Genauigkeit $\pm 0,005$ mm), Toleranz $\pm 0,05$ mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Oberfläche: Weißlichtinterferometrie ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$), SEM (Kerbe $\pm 0,01 \text{ mm}$).

Eigenschaften: Härte $\pm 30 \text{ HV}$, Biegefestigkeit $\pm 3 \%$, KIC $\pm 5 \%$.

Mikrostruktur: TEM (Mikro, Körner $< 0,5 \mu\text{m}$), SEM (Makrogröße, Körner $23 \mu\text{m}$).

Stichprobenprüfung: $> 20 \%$ (Mikrogröße), $> 10 \%$ (Großgröße) pro Charge.

Ausrüstung: 3D-Scanner (GOM ATOS Q), TEM (FEI Talos F200X).

4.4 Herausforderungen und Optimierung

Herausforderung :

Mikroprüfstab: geringe Größe, Verarbeitungsfehler $> 0,05 \text{ mm}$, Rissrisiko um 20% erhöht.

Großer Teststab: Innere Spannung, Porosität um $0,01\text{--}0,02 \%$ erhöht.

Komplexe Form: geometrische Abweichung $> 0,1 \text{ mm}$, Oberflächenspannungsschicht um $10 \mu\text{m}$ erhöht.

Optimierung :

Mikro : Femtosekundenlaserbearbeitung (Wärmeeinwirkung $< 0,5 \mu\text{m}$), gestanzte Rohlinge ($\pm 0,01 \text{ mm}$).

Große Größe : Segmentiertes HIP (150 MPa , 2-fach), Spannungsabbau 15% .

Komplexe Form : CNC + elektrochemisches Polieren, geometrische Abweichung $< 0,02 \text{ mm}$, $R_a < 0,1 \mu\text{m}$.

Online-Überwachung : Röntgen-CT (Porosität $< 0,005 \%$), Infrarot-Temperaturmessung ($\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$).

Wirkung :

Miniatur: Größenabweichung $< 0,02 \text{ mm}$, Härteabweichung $< 2 \%$.

Große Größe: Porosität $< 0,005 \%$, Festigkeit um 10% erhöht.

Komplexe Formen: Geometrische Genauigkeit um 20% erhöht, Leistungsabweichung $< 3 \%$ (ScienceDirect, 2020).

4.5 Beispiele

Mikroteststäbchen (Zahnärztliches Instrument) :

Abmessungen: $2 \times 2 \times 20 \text{ mm}$, $R_a < 0,1 \mu\text{m}$.

Verfahren: YG8N-Formel, Sintern bei $1350 \text{ }^\circ\text{C}$, Femtosekundenlaserbearbeitung.

Leistung: Härte 2000 HV , Biegefestigkeit $2,2 \text{ GPa}$.

Anwendung: Prüfung von Mikroschneidwerkzeugen, Schnittstandzeit 3 Stunden .

Großer Prüfstab (Bergbauwerkzeug) :

Abmessungen: $8 \times 8 \times 50 \text{ mm}$, $R_a < 0,4 \mu\text{m}$.

Verfahren: YG15-Formel, $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ HIP, CNC-Schleifen.

Eigenschaften: Härte 1400 HV , KIC $12 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

Anwendung: Testen von Gesteinsbohrern, Lebensdauer 600 Stunden .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zylindrischer Prüfstab (Drahtziehstein) :

Maße: 5 mm Durchmesser, 30 mm Länge, V-Kerbe (0,2 mm).

Verfahren: YG6-Formel, Sintern bei 1400 °C, Fünf-Achsen-CNC + elektrochemisches Polieren.

Leistung: Härte 1500 HV, Biegefestigkeit 2,0 GPa.

Anwendung: Prüfung der Zähigkeit von Drahtziehsteinen, Lebensdauer 100.000 Meter.

5. Fazit

Nano-Prüfstäbe müssen die Probleme der Nanopulver-Agglomeration ($<0,5\%$), des Kornwachstums ($<0,5\ \mu\text{m}$) und der hohen Aktivität lösen. Durch Hochenergie-Kugelmahlen (1820 Stunden), Niedertemperatursintern (1350 °C) und Femtosekunden-Laserbearbeitung ($\pm 0,005\ \text{mm}$) werden eine Härte von 2000 HV und eine Biegefestigkeit von 2,2 GPa erreicht. Durch spezifische **Sortenoptimierung werden die Inhaltsstoffe, Bindemittel und Sinterparameter** für YG6 (niedrige Kosten, 2,0 GPa), YG15 (hohe Zähigkeit, $\text{KIC } 12\ \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) und YG8N (ultrafeine Körner, Härte 2000 HV) angepasst, um eine Leistungsabweichung von $<3\%$ zu gewährleisten. **Nicht standardmäßige Prüfstäbe erfüllen kundenspezifische Anforderungen** durch Präzisionsformen (Mikro), Fünf-Achsen-CNC (komplexe Formen) und segmentiertes HIP (große Größe), mit Größenabweichungen $<0,05\ \text{mm}$ und Leistungsabweichungen $<3\%$.

Prozessoptimierungen (wie Ultraschalldispersion, Online-Überwachung) und moderne Geräte (wie Femtosekundenlaser, Röntgen-CT) verbessern die Qualität der Prüfstäbe deutlich und erhöhen die Leistungskonsistenz um 20 %. Additive Fertigung (3D-Druck von Rohlingen) und künstliche Intelligenz (Prozessoptimierung) werden die Herstellungseffizienz von Nano- und Nicht-Standard-Prüfstäben künftig weiter verbessern.

Standard :

GB/T 3851: Biegefestigkeit.

ISO 3327: Biegeprüfstäbe.

ISO 28079: Bruchzähigkeit.

GB/T 3849: Kobalt-Magnettest.

ISO 4499: Mikrostruktur.

ISO 4505: Porosität.

ASTM B406: Biegefestigkeit.

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 :

Nationales Normal für Hartmetallprüfstäbe

Prüfstäbe aus Hartmetall oder Hartmetall werden zum Testen wichtiger Eigenschaften wie Querfestigkeit (TRS) und Bruchzähigkeit (KIC) verwendet. Ihre Herstellung, Spezifikationen und Tests müssen strengen nationalen Standards (GB/T) folgen, um die Genauigkeit und Konsistenz der Ergebnisse sicherzustellen. Chinas nationale Standards (GB/T) umfassen die Herstellung, Abmessungen, Leistungstests, Mikrostrukturanalyse und Prüfung der chemischen Zusammensetzung von Prüfstäben aus Hartmetall, und einige Standards sind an internationale Standards angelehnt (wie ISO 3327 und ISO 28079). Dieser Artikel listet die chinesischen nationalen Standards in Bezug auf Prüfstäbe aus Hartmetall im Detail auf und deckt alle Aspekte der Spezifikationen, Leistungstests, Herstellung und Überprüfung ab, kombiniert mit dem Standardinhalt, Anwendungsbereich und den spezifischen Anforderungen – alles auf Chinesisch, um sicherzustellen, dass der Inhalt genau, detailliert und faszinierend ist.

1. Übersicht

Hartmetallprüfstäbe werden hauptsächlich für Prüfungen der Biegefestigkeit (1,52,5 GPa) und Bruchzähigkeit (812 MPa·m²) verwendet. Standardgrößen sind 5 × 5 × 35 mm (Biegefestigkeit) und 4 × 8 × 32 mm (Zähigkeit, Kerbschlagbiegefestigkeit 0,20,3 mm). Die chinesische Norm (GB/T) enthält Spezifikationen für die Herstellung und Prüfung von Prüfstäben und deckt folgende Aspekte ab:

Prüfstabspezifikationen : Abmessungen, Toleranzen, Oberflächenqualität.

Leistungstests : Härte, Biegefestigkeit, Bruchzähigkeit, Dichte usw.

Mikrostruktur und chemische Zusammensetzung : Korngröße, Porosität, Kohlenstoffgehalt usw.

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

Vorbereitungsprozess : Dosieren, Mischen, Sintern, Verarbeiten usw.

im Zusammenhang mit Hartmetallprüfstäben in der Reihenfolge der Normnummern, wobei Inhalt, Anwendungsbereich, besondere Anforderungen und ihre Beziehung zu Prüfstäben nacheinander erläutert werden.

2. Nationale Normen für Hartmetallprüfstäbe

Nachfolgend sind chinesische nationale Normen aufgeführt, die sich direkt oder indirekt auf Prüfstäbe aus Hartmetall beziehen und alle Aspekte der Vorbereitung, Prüfung und Verifizierung von Prüfstäben abdecken.

2.1 GB/T 3851:2015 Prüfverfahren für die Querbruchfestigkeit von Hartmetall

Standardname : Querbruchfestigkeit von Hartmetall.

Anwendungsbereich : Es legt das Prüfverfahren für die Biegefestigkeit (TRS) von Hartmetall fest, das auf Prüfstäbe und Proben fertiger Produkte anwendbar ist und häufig bei Messern, Formen, Bergbauwerkzeugen usw. verwendet wird.

Anforderungen an den Prüfstab :

Abmessungen : $5,0 \pm 0,1$ mm (Breite) $\times$ $5,0 \pm 0,1$ mm (Höhe) $\times$ $35,0 \pm 0,5$ mm (Länge).

Toleranzen : Breite und Höhe $\pm 0,1$ mm, Länge $\pm 0,5$ mm, Parallelität $< 0,05$ mm, Rechtwinkligkeit $< 0,05$ mm.

Oberflächenrauheit : $R_a < 0,4$ μ m, spannungsführende Oberfläche ist poliert, ohne Risse, Poren oder Kanteneinbrüche (mit bloßem Auge sichtbare Defekte $< 0,1$ mm).

Fase : $0,20,3$ mm, Winkel $45^\circ \pm 5^\circ$, um Spannungskonzentrationen zu vermeiden.

Testmethode :

Dreipunkt-Biegeversuch :

Gerät: Universalprüfmaschine, Genauigkeit $\pm 0,1$ kN.

Drehpunktstand: $30 \pm 0,1$ mm, Belastungsgeschwindigkeit: $0,51$ mm/min.

Formel: $\sigma = 3FL / (2bh^2)$, F ist die Bruchlast (N), L ist der Auflagerabstand (mm), b und h sind die Breite und Höhe des Prüfstabes (mm).

Schritt :

Die Teststäbe wurden poliert ($R_a < 0,4$ μ m), gereinigt (Ethanol) und getrocknet (80°C , 30 min).

Platzieren Sie den Prüfstab und stellen Sie den Drehpunkt ein, um eine gleichmäßige Krafteinwirkung zu gewährleisten.

Last bis zum Bruch anwenden, F aufzeichnen und σ berechnen (Fehler $\leq \pm 5\%$).

Ergebnisse : Biegefestigkeit $1,5\text{--}2,5$ GPa, z. B. YG6 $\sim 2,0$ GPa, YG15 $\sim 2,5$ GPa.

Beziehung zum Prüfstab :

Die klare Festlegung der Abmessungen, der Oberfläche und der Prüfbedingungen von Biegefestigkeitsprüfstäben ist der Kernstandard für die Prüfstabvorbereitung.

Die Geometrie des Prüfstabs muss konsistent sein (Toleranz $\pm 0,1$ mm), um eine gleichmäßige Spannungsverteilung und eine Prüfabweichung von $< 5\%$ sicherzustellen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hinweis : Entspricht ISO 3327:2009, anwendbar auf Standardprüfstabprüfungen.

2.2 GB/T 7997-2017 Prüfverfahren für die Vickershärte von Hartmetall

Standardname : Vickers-Härteprüfung für Hartmetall.

Anwendungsbereich : Gibt das Prüfverfahren für die Härte von Hartmetall an, das auf Prüfstäbe, Fertigprodukte oder beliebige Proben anwendbar ist und zur Überprüfung der Leistungskonsistenz von Prüfstäben verwendet wird.

Anforderungen an den Prüfstab :

Probe : Polierte Oberfläche, $Ra < 0,2 \mu m$, keine Oxidschicht oder Defekte.

Größe : $> 5 \times 5 \text{ mm}$, Dicke $> 1 \text{ mm}$, Prüfstab ist direkt anwendbar.

Testmethode :

Vickershärte (HV) :

Gerät: Härteprüfgerät nach Vickers, Genauigkeit $\pm 0,5 \%$.

Eindringkörper: Diamantförmige viereckige Pyramide, Spitzenwinkel 136° .

Belastung: 1030 kgf (normalerweise HV30), 1015 Sekunden halten.

Schritt :

Polieren Sie die Oberfläche des Prüfstabs ($Ra < 0,2 \mu m$) und reinigen Sie ihn (Ethanol).

Last aufbringen und Eindruckdiagonale messen (μm , Genauigkeit $\pm 0,1 \mu m$).

Berechnen Sie HV (Fehler $< \pm 50 \text{ HV}$) und bilden Sie den Durchschnitt aus 35 Punkten.

Ergebnis : Härte 1400–2200 HV, z. B. YG6 $\sim 1500 \text{ HV}$, ultrafeines Korn $\sim 2000 \text{ HV}$.

Beziehung zum Prüfstab :

Wird verwendet, um die Härte von Prüfstäben (1400–2200 HV) zu überprüfen und so die Übereinstimmung mit dem fertigen Produkt sicherzustellen.

Die Teststäbe erfordern keine spezielle Vorbereitung und können nach dem Polieren getestet werden, um Korngröße und Kobaltgehalt zu überprüfen.

Hinweis : Entspricht ISO 6507:2005, anwendbar auf herkömmliche und Nano-Teststäbe.

2.3 GB/T 3850-2015 Verfahren zur Bestimmung der Dichte von Hartmetall

Standardname : Methode zur Messung der Dichte von Hartmetall.

Geltungsbereich : Gibt das Prüfverfahren für die Dichte von Hartmetall an, das auf Prüfstäbe und andere Proben anwendbar ist und zur Bewertung der Porosität und Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung verwendet wird.

Anforderungen an den Prüfstab :

Probe : Block oder Prüfstab, Masse $> 1 \text{ g}$, saubere Oberfläche, keine Oxidschicht.

Abmessungen : Prüfstäbe ($5 \times 5 \times 35 \text{ mm}$ oder $4 \times 8 \times 32 \text{ mm}$) sind direkt einsetzbar.

Testmethode :

Archimedisches Verfahren :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ausstattung: Präzisionswaage (Genauigkeit $\pm 0,001$ g), deionisiertes Wasser.

Formel: $\rho = m_1 / (m_1 - m_2) \times \rho_{\text{Wasser}}$, m_1 ist das Trockengewicht (g), m_2 ist das Gewicht in Wasser (g).

Schritt :

Die Prüfstäbe wurden gereinigt (Ethanol) und getrocknet (80°C, 30 min).

Das Trockengewicht und das Gewicht in Wasser wurden dreimal gemessen und der Durchschnittswert ermittelt.

Korrigiert für die Wassertemperatur ($\rho_{\text{Wasser}} \sim 1,0$ g/cm³, 20°C), Fehler $\leq \pm 0,01$ g/cm³.

Ergebnis : Dichte 14,0–15,0 g/cm³, z. B. YG6 $\sim 14,9$ g/cm³, YG15 $\sim 14,0$ g/cm³.

Beziehung zum Prüfstab :

Wird verwendet, um die Dichte des Prüfstabs (14,015,0 g/cm³) zu überprüfen, was die Porosität ($< 0,01$ %) und die Genauigkeit des Verhältnisses widerspiegelt.

Der Prüfstab bedarf keiner besonderen Vorbereitung und kann zur Überprüfung der Sinterqualität direkt getestet werden.

Hinweis : Entspricht ISO 3369:2006, anwendbar auf Standard- und Nicht-Standard-Teststäbe.

2.4 GB/T 3849-2015 Prüfverfahren für magnetische Eigenschaften von Hartmetall

Standardname : Methode zur Messung der magnetischen Eigenschaften von Hartmetall.

Anwendungsbereich : Gibt das indirekte Prüfverfahren für die Magnetisierungsintensität und den Kohlenstoffgehalt der Kobaltphase von Hartmetall an, anwendbar auf Prüfstäbe und Fertigprodukte, dient zum Nachweis der η -Phase oder des freien Kohlenstoffs.

Anforderungen an den Prüfstab :

Probe : Prüfstab oder kleine Probe ($> 5 \times 5$ mm), saubere Oberfläche, keine Oxidation.

Größe : Direkt anwendbar auf Biege- oder Zähigkeitsprüfstäbe.

Testmethode :

Kobalt-Magnettest :

Ausrüstung: Magnetometer (Genauigkeit $\pm 0,1$ emu/g).

Die Magnetisierungsintensität (emu/g) wird gemessen und indirekt auf den Kohlenstoffgehalt geschlossen.

Schritt :

Reinigen Sie den Prüfstab (Ethanol) und trocknen Sie ihn.

Platzieren Sie ein Magnetometer und messen Sie die Magnetisierungsintensität, wiederholen Sie den Vorgang dreimal und ermitteln Sie den Durchschnittswert.

Der Kohlenstoffgehalt wurde durch Vergleich mit der Standardkurve geschätzt (Fehler $< \pm 0,05$ %).

Ergebnisse : Magnetisierungsintensität 120–150 emu/g, z. B. YG6 ~ 150 emu/g, Dekarbonisierung ~ 120 emu/g.

Beziehung zum Prüfstab :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wird verwendet, um den Kohlenstoffgehalt des Teststabs ($6,13 \pm 0,1$ Gew.-%) zu überprüfen und die η -Phase (geringe Magnetisierung) oder den freien Kohlenstoff (hohe Magnetisierung) zu erkennen.

Die Prüfstäbe benötigen keine spezielle Vorbereitung und können direkt getestet werden, um die Inhaltsstoffe und den Sinterprozess zu überprüfen.

Hinweis : Gilt für Hartmetall auf Kobaltbasis, entspricht ISO 3326:2013.

2.5 GB/T 18376-2014 Methode zur Bewertung der Mikrostruktur von Hartmetall

Standardname : Methode zur Beurteilung der Mikrostruktur von Hartmetall.

Anwendungsbereich : Gibt die Beobachtungs- und Bewertungsmethode der Mikrostruktur von Hartmetall an, die auf Teststäbe und Fertigprodukte anwendbar ist und zur Bewertung von Korngröße, Porosität und Defekten (wie η -Phase, freier Kohlenstoff) verwendet wird.

Anforderungen an den Prüfstab :

Proben : poliert ($R_a < 0,05 \mu\text{m}$), geätzt (Murakami-Reagenz, 510 Sek.).

Größe : Teststabscheiben ($> 5 \times 5 \text{ mm}$) oder polierter ganzer Stab.

Testmethode :

Optisches Mikroskop/REM :

Beobachtet wurden Korngröße ($0,52 \mu\text{m}$), Porosität ($< 0,01 \%$) und Phasenverteilung.

Bewertungsnorm: A02B00C00 (Porosität $< 0,01 \%$, ISO 4505).

XRD :

Erkennen Sie die Phasenzusammensetzung (wie WC, Co, $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) mit einer Empfindlichkeit von $0,1 \%$.

Schritt :

Den Teststab polieren, ätzen und reinigen (Ethanol).

Zur Messung der Korngröße wurde eine Mikroskopbeobachtung ($50 \times 1000 \times$) verwendet (Fehler $< \pm 0,1 \mu\text{m}$).

XRD-Analyse η -Phase/freier Kohlenstoff (Verhältnis $< 1 \%$).

Ergebnisse : Korngröße $0,52 \mu\text{m}$ (konventionell) bzw. $< 0,5 \mu\text{m}$ (ultrafeines Korn), η -Phase $< 1 \%$.

Beziehung zum Prüfstab :

Wird verwendet, um die Mikrostruktur (Körner, Poren, Defekte) des Teststabs zu überprüfen und so die Übereinstimmung mit dem fertigen Produkt sicherzustellen.

Teststäbe werden poliert und geätzt, um die Sinterqualität und Kornkontrolle zu beurteilen.

Hinweis : Entspricht ISO 44991:2008, anwendbar auf Nano- und herkömmliche Teststäbe.

2.6 GB/T 5314-2011 Chemische Analysemethoden für Hartmetall

Standardname : Methoden zur chemischen Analyse von Hartmetall.

Anwendungsbereich : Es legt die Analysemethoden für Elemente wie Wolfram, Kobalt und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kohlenstoff in Hartmetall fest. Es ist anwendbar auf Prüfstäbe und Rohstoffe zur Überprüfung der chemischen Zusammensetzung.

Anforderungen an den Prüfstab :

Probe : Pulver oder kleine Stücke ($>0,1$ g), der Prüfstab muss zerkleinert werden (<100 μm).

Größe : Direkte Probenahme oder Aufschneiden von Teststäben.

Testmethode :

Kohlenstoff- und Schwefelanalyse : Verbrennungsmethode, CO_2 -Messung, Ermittlung des Gesamtkohlenstoffs (Genauigkeit $\pm 0,01$ %).

ICPMS : Säureauflösung, Erkennung von W, Co, Cr usw. (Genauigkeit $\pm 0,001$ %).

Schritt :

Den Prüfstab zerdrücken (<100 μm) und waschen (deionisiertes Wasser).

Verbrennung oder Auflösung, Analyse des Elementgehalts, 3-mal wiederholt.

Der Kohlenstoffgehalt wurde ($6,13 \pm 0,1$ Gew.-%) mit einem Fehler von $< \pm 0,05$ % verifiziert.

Ergebnisse : Kohlenstoff $\sim 6,13$ Gew.-%, Kobalt 615 Gew.-%, Verunreinigungen $< 0,05$ %.

Beziehung zum Prüfstab :

Zur Überprüfung der chemischen Zusammensetzung (Kohlenstoff, Kobalt) des Teststabs und zur Sicherstellung, dass keine Entkohlung (η -Phase) oder Aufkohlung (freier Kohlenstoff) vorliegt.

Um die Richtigkeit der Inhaltsstoffe und der Sinterung zu überprüfen, muss der Prüfstab zerkleinert werden.

Hinweis : Gilt für Hartmetalle auf Kobalt- und Nickelbasis. Einige Methoden beziehen sich auf ISO 11876.

2.7 GB/T 1482-2010 Bestimmung der Fließfähigkeit von Hartmetallpulver

Standardname : Methode zur Bestimmung der Fließfähigkeit von Hartmetallpulvern.

Anwendungsbereich : Gibt das Prüfverfahren für die Fließfähigkeit von Hartmetallpulver an, anwendbar auf den Misch- und Sprühtrocknungsprozess vor der Herstellung von Prüfstäben.

Anforderungen an den Prüfstab :

Probe : Pulver nach dem Mischen ($D_{50} 50200$ μm), was indirekt die Qualität des Prüfstabrohlings beeinflusst.

Größe : Steht nicht in direktem Zusammenhang mit dem Prüfstab, beeinflusst aber die Gleichmäßigkeit des Anpressens.

Testmethode :

Hall-Durchflussmesser :

Ausstattung: Standardtrichter (Öffnung 2,5 mm), Genauigkeit $\pm 0,1$ s.

Messen Sie die Zeit, die 50 g Pulver zum Ausfließen benötigen (s/50 g).

Schritt :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Das sprühgetrocknete Pulver (D50 50200 μm) wurde entnommen und getrocknet (80°C, 1 h).
In einen Trichter gießen, Auslaufzeit aufzeichnen, dreimal wiederholen und den Durchschnittswert ermitteln.

Fließfähigkeit: <25 s/50 g (konventionell), <20 s/50 g (Nanopulver).

Ergebnisse : YG6 ~25 s/50 g, YG8N ~18 s/50 g.

Beziehung zum Prüfstab :

Stellen Sie die Fließfähigkeit des gemischten Pulvers sicher (<25 s/50 g), verbessern Sie die Gleichmäßigkeit des Rohlings (>95 %) und verringern Sie die Porosität des Prüfstabs (<0,01 %).

Beeinflusst indirekt die Qualität des Pressens und Sinterns von Teststäben.

Hinweis : Gilt für Nano- und herkömmliche Pulver, siehe ASTM B213.

2.8 GB/T 5169-2013 Prüfverfahren für die Porosität von Hartmetall

Standardname : Methode zur Bestimmung der Porosität in Hartmetall.

Anwendungsbereich : Gibt das Prüfverfahren für die Porosität von Hartmetall an, das auf Prüfstäbe und Fertigprodukte anwendbar ist und zur Bewertung der Sinterqualität verwendet wird.

Anforderungen an den Prüfstab :

Proben : poliert (Ra <0,05 μm), Teststabscheiben oder ganze Stäbe.

Größe : >5×5 mm, Prüfstab ist direkt anwendbar.

Testmethode :

Mikroskopische Beobachtung :

Ausrüstung: Optisches Mikroskop oder SEM (Genauigkeit $\pm 0,1 \mu\text{m}$).

Klassifizierung: Typ A (<25 μm), Typ B (2550 μm), Typ C (freier Kohlenstoff).

Standard: A02B00C00 (Porosität <0,01 %).

Schritt :

Den Prüfstab polieren und reinigen (Ethanol).

Zur Ermittlung der Anzahl und Größe der Poren wurde eine Mikroskopbeobachtung (100×500×) durchgeführt.

Bewerten Sie die Porosität (Fehler $\leq \pm 0,005 \%$).

Ergebnis : Porosität <0,01 %, z. B. HIP-Teststab <0,005 %.

Beziehung zum Prüfstab :

Überprüfen Sie die Porosität des Teststabs (<0,01 %), um die Qualität der Sinter- und HIP-Prozesse sicherzustellen.

Die Teststäbe werden poliert, um die Auswirkungen innerer Defekte auf Festigkeit und Zähigkeit zu bewerten.

Hinweis : Entspricht ISO 4505:1978, anwendbar auf Standard- und Nicht-Standard-Teststäbe.

2.9 GB/T 4334-2020 Prüfverfahren für die Korrosionsbeständigkeit von Hartmetall

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Standardname : Prüfverfahren für die Korrosionsbeständigkeit von Hartmetall.

Anwendungsbereich : Gibt das Prüfverfahren für die Korrosionsbeständigkeit von Hartmetall an, das auf Prüfstäbe und Fertigprodukte anwendbar ist und zur Bewertung der chemischen Stabilität verwendet wird.

Anforderungen an den Prüfstab :

Probe : Poliert ($Ra < 0,2 \mu m$), $> 10 \times 10$ mm, geeignet für Teststababschnitte.

Größe : Der Prüfstab muss geschnitten oder poliert werden.

Testmethode :

Immersionstest :

Medium: 5 % HCl (pH 47), Temperatur 60 °C, Zeit 168 Stunden.

Der Massenverlust (mg) wurde gemessen und die Korrosionsrate (mm/Jahr, Fehler $\leq \pm 10$ %) berechnet.

Elektrochemische Prüfung :

Ausstattung: Elektrochemischer Arbeitsplatz zur Messung von Korrosionspotential (V) und Stromdichte ($\mu A/cm^2$).

Schritt :

Den Prüfstab polieren und reinigen (deionisiertes Wasser).

Eintauchen oder elektrochemischer Test, Daten aufzeichnen, 3-mal wiederholen.

Berechnen Sie die Korrosionsrate ($< 0,01$ mm/Jahr).

Ergebnisse : YG6 $\sim 0,01$ mm/Jahr, YN10 $< 0,005$ mm/Jahr.

Beziehung zum Prüfstab :

Überprüfen Sie die Korrosionsbeständigkeit der Teststäbe ($< 0,01$ mm/Jahr) und bewerten Sie die Auswirkungen von η auf die Leistung.

Um die chemische Zusammensetzung und Mikrostruktur indirekt zu überprüfen, muss der Prüfstab poliert werden.

Hinweis : Siehe ASTM G31, anwendbar auf Legierungen auf Kobalt- und Nickelbasis.

2.10 GB/T 12444-2006 Prüfverfahren für die Verschleißfestigkeit von Hartmetall

Standardname : Prüfverfahren für die Verschleißfestigkeit von Hartmetall.

Anwendungsbereich : Gibt das Prüfverfahren für die Verschleißfestigkeit von Hartmetall an, das auf Prüfstäbe und Fertigprodukte anwendbar ist und zur Bewertung der Lebensdauer verwendet wird.

Anforderungen an den Prüfstab :

Probe : Poliert ($Ra < 0,2 \mu m$), $> 10 \times 10$ mm, geeignet für Teststababschnitte.

Größe : Der Prüfstab muss geschnitten oder poliert werden.

Testmethode :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Abriebtest :

Gerät: Schleifscheibe (Al₂O₃, Korngröße 60100 μm), Belastung 1020 N.

Bedingungen: Drehzahl 200–300 U/min, Zeit 30–60 Minuten.

Der Massenverlust wurde gemessen (mg, Fehler <±5%).

Verschleiß der Bolzenscheibe :

Ausrüstung: Stift-auf-Scheibe-Verschleißtester, Reibscheibe (Stahl oder Keramik).

Messen Sie das Verschleißvolumen (mm³).

Schritt :

Den Prüfstab polieren und reinigen (Ethanol).

Stellen Sie die Bedingungen ein, testen Sie den Verschleiß und wiederholen Sie den Vorgang dreimal.

Berechnen Sie die Verschleißrate (z. B. 0,01 mm³/N·m).

Ergebnisse : YG6 ~0,01 mm³/N·m, YN10 ~0,008 mm³/N·m.

Beziehung zum Prüfstab :

Überprüfen Sie die Verschleißfestigkeit von Teststäben und bewerten Sie die Auswirkungen von Korngröße und Härte auf die Lebensdauer.

Um die Qualität der Mikrostruktur indirekt zu überprüfen, muss der Teststab poliert werden.

Hinweis : Informationen zu standardmäßigen und nicht standardmäßigen Prüfstäben finden Sie in ASTM B611 und G99.

3. Indirekt verbundene nationale Normen

Obwohl die folgenden nationalen Normen nicht direkt auf Prüfstäbe anwendbar sind, haben sie einen wichtigen Einfluss auf den Vorbereitungsprozess und die Qualitätskontrolle und gewährleisten indirekt die Leistung der Prüfstäbe.

3.1 GB/T 52432008 Hartmetallsorten

Standardname : Hartmetallsorten.

Anwendungsbereich : Gibt die Leistung, Zusammensetzung und Anwendung von Hartmetallsorten (wie YG6, YG15, YN10) an.

Beziehung zum Prüfstab :

Definieren Sie Teststabrezepturen und Leistungsziele, wie etwa YG6 (6 % Co, Härte 1500 HV), YG15 (15 % Co, KIC 12 MPa·m^{1/2}).

Stellen Sie sicher, dass der Teststab mit dem Markennamen übereinstimmt und der Inhaltsstofffehler <0,1 % beträgt.

Inhalt :

Zusammensetzung: WC, Co, Ni-Gehalt, Kohlenstoff 6,13 ± 0,1 Gew. %.

Eigenschaften: Härte 1400–2200 HV, Biegefestigkeit 1,5–2,5 GPa.

Hinweis : Es wird auf ISO 513 verwiesen, das Leistungsbenchmarks für die Prüfstabvorbereitung bereitstellt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.2 GB/T 34505-2017 Technische Anforderungen für die Herstellung von Hartmetallpulvern

Standardname : Technische Spezifikation für die Herstellung von Hartmetallpulvern.

Anwendungsbereich : Es legt die Partikelgröße, Reinheit und Vorbereitungsanforderungen von Hartmetallpulver fest und eignet sich zum Dosieren und Mischen von Prüfstäben.

Beziehung zum Prüfstab :

Stellen Sie die Pulverqualität sicher (WC-Korngröße 0,12 μm , Reinheit >99,9 %) und verbessern Sie die Gleichmäßigkeit der Prüfstäbe (>95 %).

Kontrollieren Sie den Sauerstoffgehalt (<0,05 %) und vermeiden Sie eine Entkohlung (η -Phase).

Inhalt :

Partikelgröße: D50 0,12 μm (konventionell), 0,10,4 μm (Nanometer).

Reinheit: WC >99,9 %, Co >99,9 %, Verunreinigungen <0,01 %.

Fließfähigkeit: <25 s/50 g (GB/T 1482).

Hinweis : Gilt sowohl für die Nano- als auch für die herkömmliche Teststab-Chargenherstellung.

3.3 GB/T 26048-2010 Technische Bedingungen für das Sintern von Hartmetall

Standardname : Technische Spezifikation für das Sintern von Hartmetall.

Anwendungsbereich : Gibt die Prozessparameter des Sinterprozesses von Hartmetall an und ist auf das Sintern von Prüfstäben anwendbar.

Beziehung zum Prüfstab :

Stellen Sie die Sinterqualität des Prüfstabs sicher (Porosität <0,01 %, η -Phase <1 %).

Kontrollieren Sie die Sintertemperatur (1350–1450 $^{\circ}\text{C}$, ± 5 $^{\circ}\text{C}$) und die Atmosphäre (< 10^{-3} Pa).

Inhalt :

Temperatur: 1350–1450 $^{\circ}\text{C}$ (konventionell), 1320–1380 $^{\circ}\text{C}$ (Nano).

Vakuumgrad: < 10^{-3} Pa, Sauerstoff <0,01 %.

HIP: 1350–1450 $^{\circ}\text{C}$, 100–150 MPa, Porosität <0,01 %.

Anmerkungen : Anwendbar auf Vakuumsintern und HIP-Verfahren.

4. Übereinstimmung zwischen nationalen und internationalen Normen

Einige nationale Normen entsprechen internationalen Normen (ISO, ASTM) oder verweisen auf diese. Dadurch wird die globale Anwendbarkeit der Prüfstabprüfung verbessert:

GB/T 38512015 $\approx$ ISO 3327:2009 (Biegefestigkeit).

GB/T 79972017 $\approx$ ISO 65071:2005 (Vickershärte).

GB/T 38502015 $\approx$ ISO 3369:2006 (Dichte).

GB/T 38492015 $\approx$ ISO 3326:2013 (magnetische Eigenschaften).

GB/T 183762014 $\approx$ ISO 44991:2008 (Mikrostruktur).

GB/T 51692013 $\approx$ ISO 4505:1978 (Porosität).

GB/T 43342020 bezieht sich auf ASTM G31 (Korrosionsbeständigkeit).

GB/T 124442006 bezieht sich auf ASTM B611/G99 (Abriebfestigkeit).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Kombination aus Prüfstabvorbereitung und nationalen Standards

Die Vorbereitung der Prüfstäbe muss den oben genannten nationalen Normen vollständig entsprechen. Die spezifischen Anwendungen sind wie folgt:

Zutaten :

Entspricht **GB/T 52432008** (Sortenzusammensetzung, z. B. YG6: 6 % Co), **GB/T 53142011** (Kohlenstoff $6,13 \pm 0,1$ %).

Kontrollieren Sie die Pulverqualität (**GB/T 345052017** , WC-Reinheit > 99,9 %).

Mischen :

Gewährleisten Sie Fließfähigkeit (**GB/T 14822010** , <25 s/50 g) und Partikelgleichmäßigkeit >95 %.

unterdrücken :

Kaltisostatisches Pressen (200–350 MPa), die Knüppelgröße berücksichtigt die Schrumpfung (**GB/T 38512015** , z. B. $6,2 \times 6,2 \times 43$ mm).

Sintern :

Vakuumsintern + HIP (**GB/T 260482010** , 1350–1450 °C, Porosität <0,01 %).

Verarbeitung :

Schleifen und Polieren (**GB/T 38512015** , Ra <0,4 µm; **ISO 28079** , Kerbe 0,20,3 mm).

verifizieren :

Größe: $\pm 0,1$ mm (**GB/T 38512015**).

Eigenschaften: Härte (**GB/T 79972017** , 14002200 HV), Dichte (**GB/T 38502015** , 14.015.0 g/cm³).

Mikrostruktur: Korngröße 0,52 µm, η -Phase <1 % (**GB/T 183762014**).

Chemische Zusammensetzung: Kohlenstoff $\pm 0,05$ % (**GB/T 53142011** , **GB/T 38492015**).

6. Praktische Anwendungsfälle

YG6 Biegeprüfstab :

Standard : GB/T 38512015 (Größe $5 \times 5 \times 35$ mm, Ra <0,4 µm), GB/T 79972017 (Härte 1500 HV), GB/T 38492015 (Kohlenstoff 6,13 %).

Herstellung : WC 94 Gew.-%, Co 6 Gew.-%, gesintert bei 1400 °C, geschliffen Ra <0,4 µm.

Ergebnisse : Biegefestigkeit 2,0 GPa, Härte 1500 HV, Schnittlebensdauer 2 Stunden.

YG15 Zähigkeitsprüfstab :

Normen : ISO 28079 (Größe $4 \times 8 \times 32$ mm, Kerbe 0,25 mm), GB/T 38502015 (Dichte 14,0 g/cm³), GB/T 183762014 (Korngröße $\sim 1,8$ µm).

Vorbereitung : WC 85 Gew.-%, Co 15 Gew.-%, 1450 °C HIP, Funkenkerbe.

Ergebnisse : KIC 12 MPa·m^{1/2}, Dichte 14,0 g/cm³, Stanzlebensdauer 120.000 Mal.

YG8N Nano-Teststab :

Standards : GB/T 38512015 (Biegefestigkeit), GB/T 183762014 (Korn <0,5 µm), GB/T 53142011 (Kohlenstoff $\pm 0,03$ %).

Vorbereitung : WC 0,20,4 µm, gesintert bei 1350 °C, mit Femtosekundenlaser eingekerbt.

Ergebnisse : Härte 2000 HV, Biegefestigkeit 2,2 GPa, Lebensdauer des Luftfahrtwerkzeugs 4

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Stunden.

7. Fazit

Die Herstellung und Prüfung von Hartmetallprüfstäben muss den folgenden nationalen Kernnormen entsprechen:

GB/T 38512015 : Prüfstab für Biegefestigkeit ($5 \times 5 \times 35$ mm, $Ra < 0,4$ μm).

GB/T 79972017 : Härte (1400 – 2200 HV).

GB/T 38502015 : Dichte (14,015,0 g/cm³).

GB/T 38492015 : Magnetische Eigenschaften (Kohlenstoff $\pm 0,05$ %).

GB/T 183762014 : Mikrostruktur (Korngröße 0,52 μm , η -Phase < 1 %).

GB/T 53142011 : Chemische Zusammensetzung (Kohlenstoff $6,13 \pm 0,1$ %).

GB/T 51692013 : Porosität ($< 0,01$ %).

GB/T 43342020 : Korrosionsbeständigkeit ($< 0,01$ mm/Jahr).

GB/T 124442006 : Abriebfestigkeit ($\sim 0,01$ mm³/N·m).

GB/T 1482-2010 : Pulverfließfähigkeit (< 25 s/50 g).

GB/T 52432008 : Markenleistung.

GB/T 34505-2017 : Pulverherstellung.

GB/T 260482010 : Sinterverfahren.

Diese Normen decken die Spezifikationen (Toleranz $\pm 0,1$ mm), Leistung (Härte, Festigkeit, Zähigkeit), Vorbereitung (Zutaten, Sintern, Verarbeitung) und Verifizierung (Mikrostruktur, chemische Zusammensetzung) von Prüfstäben ab und gewährleisten deren gleichbleibende Leistung (Abweichung < 5 %). Einige nationale Normen entsprechen der ISO (z. B. GB/T 3851 $\approx$ ISO 3327) und gelten für Standard-, Nano- und Nicht-Standard-Prüfstäbe. Intelligente Überwachung und automatisierte Verarbeitung werden die Effizienz der nationalen Normumsetzung künftig weiter verbessern.

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

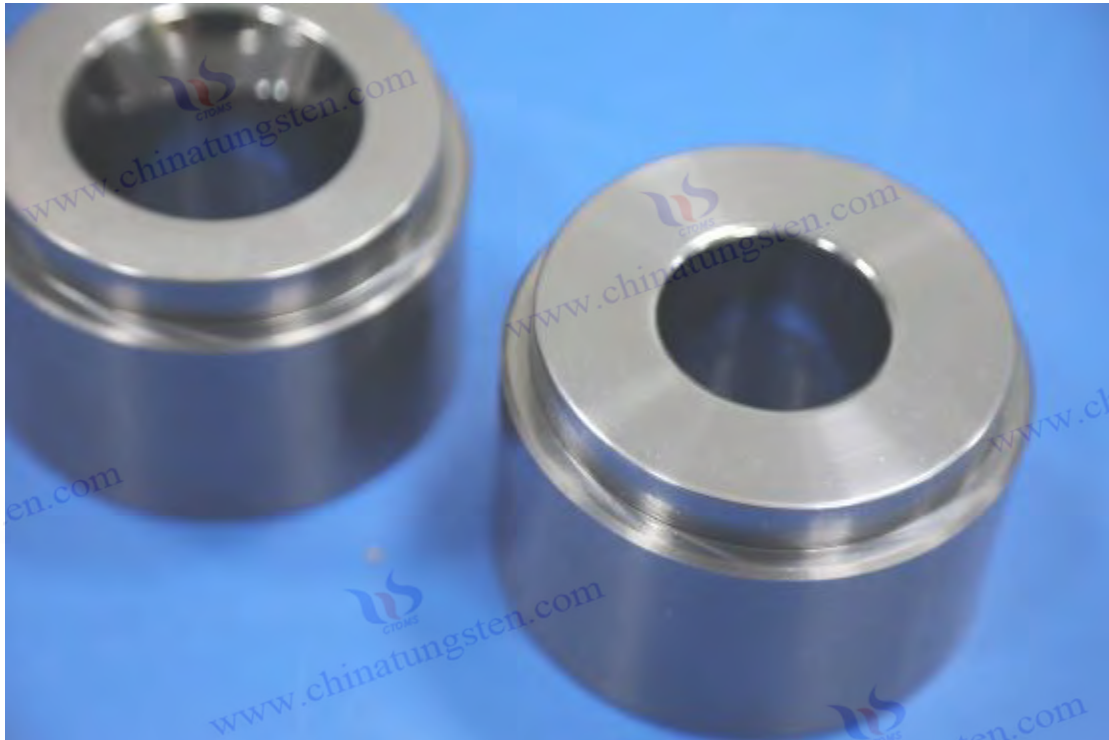
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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



GB/T 3851-2015 Biegefestigkeitsprüfstab aus Hartmetall

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt die Herstellung, Größenanforderungen, Prüfverfahren und damit verbundenen technischen Anforderungen für Biegefestigkeitsprüfstäbe aus Hartmetall fest. Diese Norm gilt für Hartmetallwerkstoffe und -produkte mit Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase. Sie dient zur Bestimmung der Biegefestigkeit als wichtiger Indikator zur Bewertung der mechanischen Eigenschaften von Werkstoffen. Diese Methode eignet sich für Leistungsprüfungen in der Qualitätskontrolle, Produktabnahme sowie Forschung und Entwicklung. Diese Norm gilt nicht für nicht auf Kobalt basierende Hartmetalle oder Werkstoffe mit signifikanten nichtmetallischen Einschlüssen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Norm von wesentlicher Bedeutung. Bei datierten Dokumenten gilt ausschließlich die datierte Fassung für diese Norm. Bei undatierten Dokumenten gilt die jeweils neueste Fassung (einschließlich aller Änderungen) für diese Norm.

GB/T 3848 Bestimmung des Kobaltgehalts in Hartmetall

GB/T 3850 Bestimmungsmethode der Koerzitivfeldstärke von Hartmetall

GB/T 5313 Dreipunkt- und Vierpunkt-Biegeprüfverfahren für Metallwerkstoffe bei Raumtemperatur

ISO 3327:2009 Hartmetall – Bestimmung der Biegefestigkeit

ISO 4505:1978 Hartmetall - Herstellung von Biegefestigkeitsprüfstäben

3 Begriffe und Definitionen

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

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Biegefestigkeit:

Die maximale Spannung, der ein Hartmetallprüfstab in einem Drei- oder Vierpunktbiegeversuch standhält. Die Einheit ist MPa (Megapascal) und gibt die Bruchfestigkeit des Materials an.

3.2 Hartmetall ist ein Verbundwerkstoff aus Wolframkarbid (WC)

als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase, der durch ein pulvermetallurgisches Verfahren hergestellt wird.

3.3 Prüfstab

Eine standardisierte Probe mit spezifischen Abmessungen und Oberflächenqualität für Biegefestigkeitsprüfungen.

3.4 Stützweite:

Der Abstand der Auflagepunkte im Biegeversuch in mm.

4 Grundsatz

Die Biegefestigkeit ist die Widerstandsfähigkeit von Hartmetall gegen Bruch unter Biegebelastung. Sie wird durch einen Dreipunkt- oder Vierpunkt-Biegeversuch ermittelt. Der Prüfstab wird auf den Auflagepunkt gelegt und mit einer konzentrierten oder gleichmäßig verteilten Last beaufschlagt. Die maximale Bruchkraft wird aufgezeichnet und die Biegefestigkeit anhand der geometrischen Abmessungen und Materialeigenschaften des Prüfstabs berechnet. Die Formel lautet:

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (\text{二点弯曲})$$

$$\sigma_f = \frac{FL}{bh^2} \quad (\text{四点弯曲})$$

其中:

- * σ_f : 抗弯强度 (MPa);
- * F : 断裂载荷 (N);
- * L : 跨距 (mm);
- * b : 试棒宽度 (mm);
- * h : 试棒高度 (mm);

Oberflächendefekte, Korngröße und Porosität haben einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse und die Qualität der Prüfstabvorbereitung muss streng kontrolliert werden.

5. Prüfstabvorbereitung

5.1 Materialanforderungen

Die Prüfstäbe müssen aus der gleichen Rohstoffcharge hergestellt werden wie das zu prüfende

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hartmetall.

Die Abweichung des Kobaltgehalts beträgt $<0,1$ Gew.-% und die Korngrößenschwankung beträgt <5 %.

5.2 Maße und Toleranzen

- **形状:** 矩形截面试样。
- **标准尺寸:**
 - 长度: 大于跨距 $+2 \times$ 支承点直径 (通常 20-50 mm 余量)。
 - 宽度 (b): (6.0 ± 0.1) mm 或 (10.0 ± 0.1) mm。
 - 高度 (h): (2.0 ± 0.05) mm, (3.0 ± 0.05) mm 或 (5.0 ± 0.1) mm。
- **跨距 (L):** 20 mm, 30 mm 或 40 mm, 视试样高度选择 (通常 $L/h = 10 \sim 15$)。
- **表面质量:** 表面光滑, 无裂纹 ($<5 \mu\text{m}$)。划痕或孔隙 (孔隙率 $<0.05\%$)。边缘倒角 0.1-0.2 mm。

5.3 Vorbereitungsprozess

Pressen: Um eine gleichmäßige Dichte (> 99 %) zu gewährleisten, wird isostatisches Pressen oder uniaxiales Pressen mit einem Druck von 150–200 MPa verwendet.

Sintern: Temperatur 1350–1500 °C, Zeit 1–2 Stunden, unter Vakuum oder Wasserstoff-Schutzatmosphäre.

Bearbeitung: Mit Diamantschleifscheibe oder Funkenerosion auf die angegebene Größe bearbeiten, Oberflächenrauheit $R_a \leq 0,4 \mu\text{m}$.

Inspektion: Jede Charge von Teststäben wird einer Sichtprüfung und Maßmessung unterzogen und 5 % der Teststäbe werden zufällig ausgewählt, um eine Dichte- und Mikrostrukturanalyse durchzuführen.

5.4 Anzahl der Prüfstäbe

Teststäbe für jede Charge, von denen mindestens 5 zum Testen verwendet werden und der Rest als Ersatz dient.

6 Instrumente und Ausrüstung

6.1 Universelle Materialprüfmaschine

mit Lastbereich von 0-50 kN, Genauigkeit von $\pm 0,5$ %, ausgestattet mit Dreipunkt- oder Vierpunkt-Biegevorrichtung.

Zur Messung der Abmessungen des Prüfstabs wird ein **6,2-Mikrometer mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01$ mm verwendet.**

6.3

Zur Überprüfung von Oberflächendefekten wird ein metallografisches Mikroskop mit einer 200- bis 500-fachen Vergrößerung verwendet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.4

Die Temperatur der Testumgebung wird in einer Konstanttemperaturbox auf 20–25 °C geregelt und die Luftfeuchtigkeit liegt bei <60 %.

7 Prüfmethoden

7.1 Prüfbedingungen

Umgebungstemperatur: 20–25 °C, Temperaturschwankung $\leq \pm 2$ °C.

Relative Luftfeuchtigkeit: <60 %, um eine Feuchtigkeitsaufnahme des Prüfstabs zu verhindern.

Belastungsgeschwindigkeit: 0,5–1,0 mm/min (angepasst an die Größe des Prüfstabs).

7.2 Prüfstabmontage

Legen Sie den Prüfstab auf die Biegevorrichtung, richten Sie den Auflagepunkt auf die Länge des Prüfstabs aus und stellen Sie die Spannweite gemäß der Norm ein.

Achten Sie darauf, dass der Prüfstab nicht verkantet ist und die Auflagepunkte gleichmäßig aufliegen.

7.3 Prüfschritte

1. Messen Sie die Breite (b) und Höhe (h), nehmen Sie 3 Punkte.
2. Installieren Sie die Probe, justieren Sie die Spannweite (L), und notieren Sie den Anfangszustand.
3. Führen Sie mit einer bestimmten Geschwindigkeit eine Last auf, bis die Probe bricht, und notieren Sie die maximale Last (F).
4. Wiederholen Sie die Tests 5–10 Mal mit Proben, nehmen Sie den Mittelwert als Biegezugfestigkeit.
5. Untersuchen Sie die Bruchfläche, und notieren Sie den Bruchmodus (spröde oder duktil).

7.4 Datenverarbeitung

Berechnung der Biegezugfestigkeit: Berechnen Sie die Biegezugfestigkeit (R_m), und runden Sie auf 1 Dezimalstelle.

Weicht das Ergebnis eines einzelnen Prüfstabes um >10 % vom Mittelwert ab, ist dieser zu verwerfen und neu zu berechnen.

Standardabweichungen werden innerhalb von ± 5 % angegeben.

8 Ergebnisausdruck

Die Biegezugfestigkeit wird in MPa mit einer Nachkommastelle gemessen (z. B. 2200,5 MPa).

Der Testbericht sollte Folgendes enthalten:

- a) Standardnummer: GB/T 3851-2015; b) Beschreibung des Teststabs: Marke, Charge, Größe; c) Testbedingungen: Temperatur, Feuchtigkeit, Spanne; d) Instrumentenmodell und Kalibrierungsstatus; e) Ergebnisse: Durchschnittswert und Standardabweichung der Biegezugfestigkeit; f) Beschreibung der Anomalie: Wenn das Ergebnis um >10 % abweicht, erklären Sie den Grund; g) Testdatum: z. B. 21. Mai 2025; h) Unterschrift des Testers.

9 Präzision und Bias

9.1 Präzision

Wiederholbarkeit: Die Abweichung der Biegezugfestigkeit, gemessen vom gleichen Bediener und mit

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

dem gleichen Gerät, beträgt $<5\%$.

Reproduzierbarkeit: Die Abweichung der von verschiedenen Laboren gemessenen Biegefestigkeit beträgt $<10\%$.

9.2 Verzerrung

Instrumentenfehler: $\pm 0,5\%$. Einfluss des Lastfehlers $<1\%$.

Mängel an Prüfstäben: Oberflächenrisse oder Poren führen zu einer Unterschätzung der Festigkeit um $5-15\%$.

Ungleichmäßige Belastung: Durch exzentrische Belastung können die Ergebnisse um $2-5\%$ abweichen.

10 Einflussfaktoren

10.1 Korngröße:

Feine Körner ($0,2-0,5\ \mu\text{m}$) haben eine Biegefestigkeit von $2200-2500\ \text{MPa}$, grobe Körner ($>5\ \mu\text{m}$) haben eine Biegefestigkeit von $1800-2000\ \text{MPa}$.

10.2 Kobaltgehalt

Der Kobaltgehalt beträgt $6-15\%$. Mit steigendem Gehalt nimmt die Biegefestigkeit leicht ab ($5-10\%$), die Zähigkeit nimmt jedoch zu.

10.3 Porosität Eine

Porosität $> 0,1\%$ verringert die Festigkeit um $10-20\%$ und die Dichte muss auf $> 99,5\%$ kontrolliert werden.

10.4 Oberflächenqualität

Kratzer oder Mikrorisse führen zu lokalen Spannungskonzentrationen und einer Festigkeitsreduzierung von $5-10\%$.

10.5 Testbedingungen

Hohe Temperaturen ($> 200\ ^\circ\text{C}$) reduzieren die Festigkeit um $5-15\%$. Feuchtigkeit beeinflusst die Festigkeit um $< 2\%$.

11 Anwendung der Prüfergebnisse

11.1 Leistungsklassifizierung

Biegefestigkeit $> 2200\ \text{MPa}$: geeignet für Werkzeuge mit hoher Härte.

Biegefestigkeit $1800-2200\ \text{MPa}$: geeignet für Formen mit mittlerer und hoher Zähigkeit.

11.2 Prozessoptimierung

Geringe Festigkeit deutet auf grobe Körner oder hohe Porosität hin. Passen Sie die Sinterparameter an ($1350-1450\ ^\circ\text{C}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11.3 Qualitätskontrolle

Überprüfen Sie, ob die Biegefestigkeit den Konstruktionsanforderungen entspricht, beispielsweise dem YG6-Ziel von 2300 ± 100 MPa.

11.4 Beispiel

: Beim Schneiden gewährleistet die Biegefestigkeit von YG8 2100 MPa eine Werkzeuglebensdauer von >3 Stunden.

12 Hinweise

12.1 Kalibrierung des Instruments

Kalibrieren Sie die Prüfmaschine vor dem Test auf einen Fehler von $\leq \pm 0,5$ %.

12.2 Qualität des Prüfstabs

Stellen Sie sicher, dass der Prüfstab frei von Mängeln ist und die Maßabweichung $\leq \pm 0,1$ mm beträgt.

12.3

Die Temperatur im Prüfraum wird auf 20–25 °C geregelt und die Luftfeuchtigkeit liegt unter 60 %.

12.4 Sicherheitsschutz

Tragen Sie während des Betriebs eine Schutzbrille, um Spritzer durch Bruch des Prüfstabs zu vermeiden.

13 Anhang (Informativer Anhang)

Anhang A Typische Biegefestigkeitswerte

Tabelle A.1 Biegefestigkeit gängiger Hartmetallsorten

Marke	Kobaltgehalt (Gew.-%)	Korngröße (μm)	Biegefestigkeit (MPa)
YG6	6	1-2	2200-2400
YG8	8	2-3	2000-2200
YG10	10	2-4	1800-2000

Anhang B Fehleranalyse

B.1 Instrumentenfehler

$\pm 0,5$ %. Der Lastfehler beeinflusst die Festigkeit um < 1 %.

B.2 Eine Defektporosität des Prüfstabs

von 0,1 % führt zu einer Festigkeitsabnahme von 10 %.

B.3 Umwelteinflüsse Hohe Temperaturen

von 200 °C führen zu einer Festigkeitsminderung von 5–15 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang C Verbesserungsvorschläge

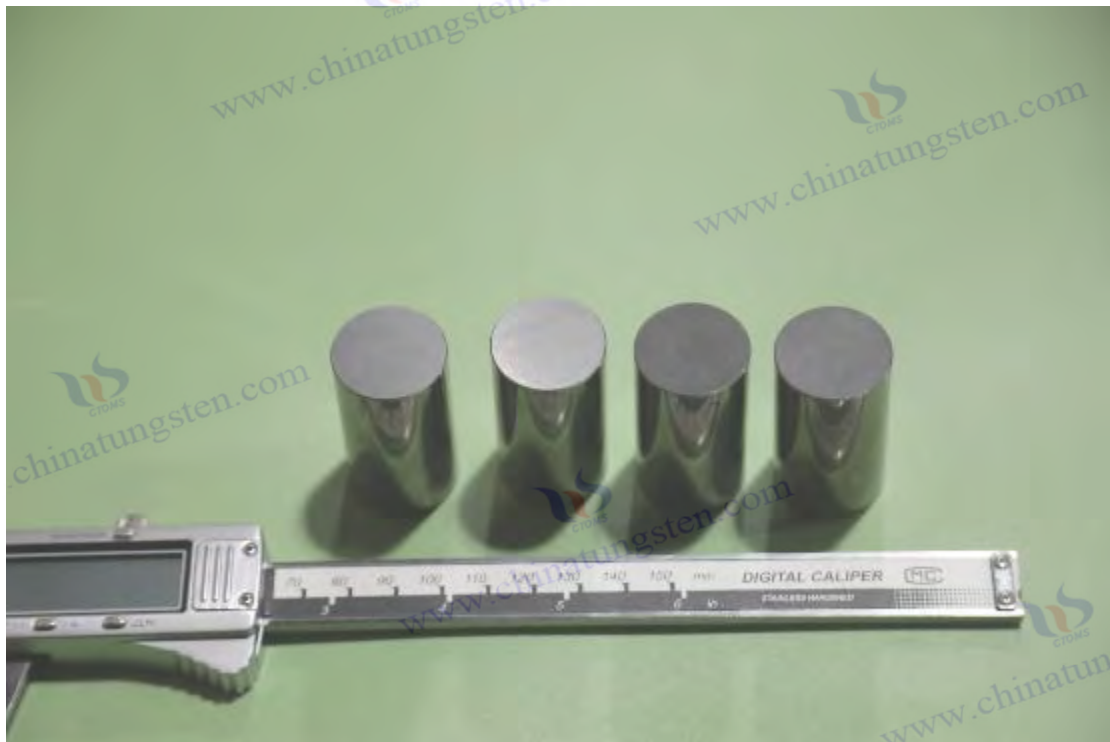
C.1 Durch Vierpunktbiegung wird die Spannungsgleichmäßigkeit verbessert und die Auswirkungen von Oberflächendefekten verringert.

C.2 Durch hochpräzise CNC-Bearbeitung wird sichergestellt, dass die Größenabweichung der Prüfstäbe $< \pm 0,05$ mm beträgt. C.3 Durch Ultraschallprüfung werden innere Mikrorisse erkannt.

Anhang D Testdatenbeispiele

Tabelle D.1 Prüfdaten zur Biegefestigkeit von YG8-Hartmetall

Probenr.	Breite (mm)	Höhe (mm)	Spannweite (mm)	Bruchlast (N)	Biegefestigkeit (MPa)	Durchschnittswert (MPa)
YG8-001	6.02	2.01	20	4500	2110	2090
YG8-002	6.01	2,00	20	4400	2070	2090
YG8-003	6.00	2.02	20	4600	2140	2090



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

GB/T 7997-2017 Härteprüfverfahren für Hartmetall

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Prüfverfahren für die Härte von Hartmetallwerkstoffen und -produkten fest. Dieses Verfahren ist auf Hartmetalle (wie YG6, YG8 usw.) mit Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase anwendbar und dient zur Messung der Härte nach Vickers-Härte (HV) oder Rockwell-Härte (HRA). Dieses Verfahren eignet sich zur Qualitätskontrolle im Produktionsprozess, zur Produktabnahme und zur Leistungsprüfung in Forschung und Entwicklung.

Diese Norm gilt nicht für nicht kobaltbasierte Hartmetalle oder nichtmetallische Werkstoffe.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Norm von wesentlicher Bedeutung. Bei datierten Dokumenten gilt ausschließlich die datierte Fassung für diese Norm. Bei undatierten Dokumenten gilt die jeweils neueste Fassung (einschließlich aller Änderungen) für diese Norm.

GB/T 230.1 Rockwell-Härteprüfung für metallische Werkstoffe Teil 1: Prüfverfahren

GB/T 231.1 Brinellhärteprüfung für metallische Werkstoffe Teil 1: Prüfverfahren

GB/T 3848 Bestimmung des Kobaltgehalts in Hartmetall

GB/T 3850 Bestimmungsmethode der Koerzitivfeldstärke von Hartmetall

ISO 3738-1:1982 Prüfverfahren für die Vickershärte von Hartmetall

ISO 6507-1:2005 Vickers-Härteprüfung für metallische Werkstoffe Teil 1: Prüfverfahren

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Härte

Die Fähigkeit von Hartmetall, Eindrücken oder Kratzern zu widerstehen, üblicherweise ausgedrückt in Vickershärte (HV) oder Rockwellhärte (HRA).

3.2 Hartmetall ist ein Verbundwerkstoff aus Wolframkarbid (WC)

als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase, der durch ein pulvermetallurgisches Verfahren hergestellt wird.

3.3 Die Vickershärte (HV)

ist der Härtewert, der berechnet wird, indem ein regelmäßiger tetraedrischer Diamanteindringkörper unter einer bestimmten Last in die Oberfläche der Probe gedrückt und die diagonale Länge des Eindrucks gemessen wird.

3.4 Die Rockwell-Härte (HRA)

ist der Härtewert, der berechnet wird, indem ein kegelförmiger Diamanteindringkörper unter einer

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

bestimmten Last in die Oberfläche einer Probe gedrückt und die Eindringtiefe gemessen wird.

4 Grundsatz

Bei der Härteprüfung für Hartmetall wird eine bestimmte Last angewendet, die Größe oder Tiefe der Einkerbung auf der Materialoberfläche unter der Einwirkung des Eindringkörpers gemessen und der Härtewert berechnet.

Vickershärte (HV)

Verwenden Sie einen regulären tetraedrischen Diamant-Eindringkörper (Scheitelwinkel 136°), um unter Belastung einen quadratischen Eindruck zu erzeugen und die diagonale Länge zu messen. Die Berechnungsformel lautet:

$$HV = \frac{1.8544 F}{d^2}$$

F : Prüflast (N);

d: Durchschnittliche diagonale Länge der Vertiefung (mm).

Rockwellhärte (HRA)

Mit einem Diamantkegel (Spitzenwinkel 120°, Radius 0,2 mm) wurden die Anfangslast (98,07 N) und die Gesamtlast (588,4 N) aufgebracht und der Unterschied in der Eindringtiefe gemessen. Die Berechnungsformel lautet:

$$HRA = 100 - \frac{h}{0.002}$$

Dabei gilt: h: Differenz der Eindringtiefe zwischen Anfangslast und Gesamtlast (mm).

5. Instrumente und Ausrüstung

5.1 Vickers-Härteprüfgerät

Lastbereich: 49,03 N (5 kgf), 98,07 N (10 kgf), 294,2 N (30 kgf).

Genauigkeit: ±0,5 % Lastfehler, Mikroskop-Messfehler ±0,001 mm.

5.2 Rockwell-Härteprüfgerät

Entspricht GB/T 230.1, Skala A, Belastung 588,4 N (60 kgf).

Genauigkeit: ±0,5 HRA.

5.3 Prüfblock

Standard-Härteprüfblöcke zur Instrumentenkalibrierung, Abweichung < ±1 HRA oder ±10 HV.

5.4 Diamantschleifscheibe

Wird zum Polieren von Probenoberflächen verwendet, Oberflächenrauheit Ra ≤ 0,2 μm.

5.5 Mikroskop

Vergrößerung 100x-500x, wird zum Messen der Eindruckgröße verwendet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.6 Konstanttemperaturbox

Die Temperatur der Testumgebung wurde auf 20–25 °C geregelt und die Luftfeuchtigkeit lag bei <60 %.

6. Proben

6.1 Probenanforderungen

Form: Flache Probe, Dicke ≥ 2 mm, Oberfläche ≥ 10 mm $\times$ 10 mm.

Oberflächenbeschaffenheit: Poliert auf $Ra \leq 0,2$ μ m, frei von Rissen (<5 μ m), Poren (Porosität <0,05 %) oder Oxidschicht.

Homogenität: Zusammensetzungsabweichung <0,1 Gew.-%, Korngrößenschwankung <5 %.

Menge: Nicht weniger als 3 Exemplare pro Charge.

6.2 Probenvorbereitung

Schneiden Sie die Proben aus Hartmetallrohlingen oder Fertigprodukten, um die Einführung von Spannungen (<100 MPa) zu vermeiden.

Polieren Sie die Oberfläche mit einer Diamantschleifscheibe, um eine Ebenheit von <0,01 mm zu gewährleisten.

Die Proben wurden mit Ethanol gewaschen, getrocknet und in einen Exsikkator gelegt.

7 Prüfmethoden

7.1 Prüfbedingungen

Umgebungstemperatur: 20–25 °C, Temperaturschwankung $\leq \pm 2$ °C.

Relative Luftfeuchtigkeit: <60 %, Feuchtigkeitsaufnahme durch die Probe vermeiden.

Instrumentenkalibrierung: Kalibriert mit Standardtestblöcken, Abweichung $\leq \pm 1$ HRA oder ± 10 HV.

7.2 Härteprüfung nach Vickers

7.2.1 Lastauswahl

Normale Belastung: 294,2 N (30 kgf).

Wenn die Probe dünn ist (<3 mm), können 98,07 N (10 kgf) verwendet werden.

7.2.2 Prüfschritte

Legen Sie die Probe auf den Tisch des Härteprüfgeräts und achten Sie darauf, dass die Oberfläche eben ist.

Wählen Sie eine Last aus, wenden Sie sie an und halten Sie sie 10–15 Sekunden lang.

Messen Sie die Längen der beiden Diagonalen der Vertiefung und bilden Sie den Durchschnittswert (Genauigkeit $\pm 0,001$ mm).

An jedem Probekörper sind 3 Punkte zu prüfen und der Abstand zwischen den Mittelpunkten benachbarter Eindrücke muss ≥ 5 Mal der Diagonallänge betragen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Berechnen Sie den HV-Wert und behalten Sie die Ganzzahl bei.

7.3 Rockwell-Härteprüfung

7.3.1 Lastauswahl

Gesamtlast: 588,4 N (60 kgf).

Anfangslast: 98,07 N (10 kgf).

7.3.2 Prüfschritte

Legen Sie die Probe auf den Tisch des Härteprüfgeräts und achten Sie darauf, dass die Oberfläche eben ist.

Wenden Sie eine Anfangslast an und wenden Sie dann die Gesamtlast an, nachdem sich der Zeiger stabilisiert hat, und halten Sie diese 5–10 Sekunden lang gedrückt.

Entfernen Sie die Gesamtlast und lesen Sie den HRA-Wert ab.

An jeder Probe wurden 3 Punkte getestet und der Abstand zwischen den Mittelpunkt benachbarter Eindrücke betrug ≥ 2 mm.

Berechnen Sie den durchschnittlichen HRA-Wert und behalten Sie eine Dezimalstelle.

7.4 Datenverarbeitung

Als endgültiger Härtewert werden drei Testpunkte verwendet.

Wenn die Einzelpunktabweichung >5 % beträgt (z. B. HRA-Abweichung $>0,5$ oder HV-Abweichung >50), entfernen Sie sie und testen Sie sie erneut.

8 Ergebnisausdruck

Die Vickershärte wird in HV und in ganzen Zahlen ausgedrückt (z. B. HV 1500).

Die Rockwell-Härte wird als HRA mit einer Dezimalstelle ausgedrückt (z. B. HRA 91,5).

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

a) Standardnummer: GB/T 7997-2017; b) Probenbeschreibung: Marke, Charge, Größe; c) Prüfmethode: Vickers- oder Rockwell-Härte; d) Prüfbedingungen: Temperatur, Feuchtigkeit, Belastung; e) Instrumentenmodell und Kalibrierungsstatus; f) Ergebnisse: Härtemittelwert, Standardabweichung; g) Prüfdatum: beispielsweise 21. Mai 2025; h) Unterschrift des Prüfers.

9 Präzision und Bias

9.1 Präzision

Wiederholbarkeit: Die vom gleichen Bediener und mit dem gleichen Gerät gemessene Härteabweichung beträgt <2 % (z. B. HRA $<0,2$, HV <30).

Reproduzierbarkeit: Die Härteabweichung zwischen verschiedenen Laboren beträgt <5 %.

9.2 Verzerrung

Instrumentenfehler: $\pm 0,5$ %. Einfluss des Lastfehlers <1 %.

Probenoberfläche: Eine Rauheit $R_a > 0,2$ μm führt zu einer Unterschätzung der Härte um 2-3 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bedienungsfehler: Das Ergebnis kann um 1-2 % abweichen, wenn der Eindringkörper nicht vertikal steht oder die Belastungszeit nicht ausreicht.

10 Einflussfaktoren

10.1 Korngröße

Feine Körner (0,2–0,5 µm) haben eine höhere Härte (HRA 91–93), während grobe Körner (> 5 µm) eine geringere Härte (HRA 88–90) haben.

10.2 Kobaltgehalt

Eine Erhöhung des Kobaltgehalts (6–15 %) verringert die Härte (HRA verringert sich um 1–2 Einheiten) aufgrund der weicheren Bindephase.

10.3 Porosität

Eine Porosität > 0,1 % reduziert die Härte um 3–5 % und die Dichte muss auf > 99,5 % kontrolliert werden.

10.4 Oberflächenbeschaffenheit

Durch Kratzer oder Mikrorisse kann es zu örtlichen Härteschwankungen von 2-3% kommen.

10.5 Prüfbedingungen

Hohe Temperaturen (> 200 °C) reduzieren die Härte um 1–3 %. Feuchtigkeit beeinflusst die Härte um < 1 %.

11 Anwendung der Prüfergebnisse

11.1 Leistungsklassifizierung

HRA >91: Geeignet für Werkzeuge mit hoher Härte (wie z. B. PCB-Bohrer, Lebensdauer >4 Stunden).

HRA 88-91: Geeignet für Formen mit hoher Zähigkeit (z. B. Bohrer für den Bergbau, Lebensdauer > 200 Stunden).

11.2 Prozessoptimierung

Eine niedrige Härte deutet auf grobe Körner oder einen zu hohen Kobaltgehalt hin. Passen Sie die Sinterparameter (1350–1450 °C) an oder fügen Sie Korninhibitoren hinzu (z. B. VC 0,2–0,5 Gew.-%).

11.3 Qualitätskontrolle:

Überprüfen Sie, ob die Härte den Konstruktionsanforderungen entspricht, z. B. YG6-Ziel HRA 91±0,5.

11.4 Beispiel

Beim Schneiden von Luftfahrtstahl gewährleistet das YG8-Werkzeug HRA 90.5

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verschleißfestigkeit und eine Lebensdauer von 3,5 Stunden.

12 Hinweise

12.1 Kalibrierung des Geräts

Kalibrieren Sie den Härteprüfer vor der Prüfung auf eine Abweichung von $< \pm 1$ HRA oder ± 10 HV.

12.2 Probenqualität

Stellen Sie sicher, dass die Probenoberfläche mit einer Rauheit $Ra \leq 0,2 \mu m$ poliert ist.

12.3

Die Temperatur im Prüfraum wird auf $20-25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ geregelt und die Luftfeuchtigkeit liegt unter 60 %.

12.4 Sicherheitsschutz

Vermeiden Sie Spritzer vom Druckkopf während des Betriebs und tragen Sie eine Schutzbrille.

13 Anhang (Informativer Anhang)

Anhang A Typische Härtewerte

Tabelle A.1 Härte gängiger Hartmetallsorten

Marke	Kobaltgehalt (Gew.-%)	Korngröße (μm)	Vickershärte (HV)	Rockwellhärte (HRA)
YG6	6	1-2	1500-1600	90,5-91,5
YG8	8	2-3	1400-1500	89,0-90,0
YG10	10	2-4	1300-1400	88,0-89,0

Anhang B Fehleranalyse

B.1 Instrumentenfehler

$\pm 0,5$ %. Der Lastfehler beeinflusst die Härte ≤ 1 %.

B.2 Die Oberflächenrauigkeit

der Probe von $Ra 0,4 \mu m$ führt zu einer Unterschätzung der Härte um 2 %.

B.3 Umwelteinflüsse

Hohe Temperaturen von $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ führen zu einer Verringerung der Härte um 1–3 %.

Anhang C Verbesserungsvorschläge

C.1 Einsatz eines Mikro-Vickers-Härteprüfers, der sich für die Prüfung kleiner Bereiche eignet.

C.2 Nutzung der Nano-Eindrucktechnologie zur Verbesserung der Genauigkeit der Härteprüfung (Fehler $< 0,5$ %). C.3 Einführung eines Online-Härteprüfsystems zur Verbesserung der Produktionseffizienz.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang D Testdatenbeispiele

Tabelle D.1 Härteprüfdaten für YG8-Hartmetall

Probenr.	Last (N)	Eindruckdiagonale (mm)	Vickershärte (HV)	Rockwellhärte (HRA)	Durchschnittliche HRA
YG8-001	294,2	0,135	1450	89,8	89,7
YG8-002	294,2	0,138	1420	89,5	89,7
YG8-003	294,2	0,136	1440	89,7	89,7

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



GB/T 3850-2015 Verfahren zur Bestimmung der Dichte von Hartmetall

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung der Dichte von Hartmetall fest. Dieses Verfahren ist anwendbar auf Hartmetallwerkstoffe und -produkte (wie YG6, YG8 und andere Güten) mit Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase. Die Dichte (Einheit: g/cm^3) wird mittels Flüssigkeitsverdrängungsverfahren oder Gasverdrängungsverfahren bestimmt. Dieses Verfahren kann zur Qualitätskontrolle im Produktionsprozess, zur Produktabnahme und zur Leistungsprüfung in Forschung und Entwicklung eingesetzt werden.

Diese Norm gilt nicht für Werkstoffe mit erheblicher Porosität oder nichtmetallischen Einschlüssen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Norm von wesentlicher Bedeutung. Bei datierten Dokumenten gilt ausschließlich die datierte Fassung für diese Norm. Bei undatierten Dokumenten gilt die jeweils neueste Fassung (einschließlich aller Änderungen) für diese Norm.

GB/T 3848 Bestimmung des Kobaltgehalts in Hartmetall

GB/T 3851-2015 Biegefestigkeitsprüfstab aus Hartmetall

GB/T 1423 Verfahren zur Bestimmung der Dichte metallischer Werkstoffe

ISO 3369:2006 Verfahren zur Bestimmung der Dichte von Hartmetall

ISO 3696 Spezifikation für Wasser für analytische Labore

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

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

3.1 Dichte:

Die Masse des Hartmetalls pro Volumeneinheit, ausgedrückt in g/cm³, die die Dichte und Gleichmäßigkeit der Zusammensetzung des Materials widerspiegelt.

3.2 Hartmetall ist ein Verbundwerkstoff aus Wolframkarbid (WC)

als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase, der durch ein pulvermetallurgisches Verfahren hergestellt wird.

3.3 Flüssigkeitsverdrängungsmethode:

Diese Methode verwendet das Archimedes-Prinzip, um das Volumen einer Probe zu bestimmen, indem diese durch eine Flüssigkeit (normalerweise Wasser oder Ethanol) verdrängt wird.

3.4 Gasverdrängungsmethode:

Eine Methode zur Messung des Probenvolumens durch Verdrängung eines Inertgases (z. B. Helium).

4 Grundsatz

Die Bestimmung der Hartmetall-dichte basiert auf dem Verhältnis von Masse und Volumen. Die Flüssigkeitsverdrängungsmethode nutzt das archimedische Prinzip zur Berechnung von Volumen und Dichte durch Messung der Masse der Probe in der Luft und der suspendierten Masse in der Flüssigkeit:

$$\rho = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \times \rho_0$$

其中:

- ρ : 试样密度 (g/cm³);
- m_1 : 试样在空气中的质量 (g);
- m_2 : 试样在液体中的悬浮质量 (g);
- ρ_0 : 液体密度 (g/cm³).

Bei der Gasaustauschmethode wird der Volumenunterschied des Inertgases innerhalb und außerhalb der Probe genutzt, um das Probenvolumen zu berechnen und anschließend die Dichte anhand der Masse zu bestimmen. Porosität und Oberflächenadsorption beeinflussen die Ergebnisse, daher müssen die Testbedingungen streng kontrolliert werden.

5. Instrumente und Ausrüstung

5.1 Analysenwaage

Genauigkeit $\pm 0,0001$ g, wird zum Messen der Probenmasse verwendet.

Ausgestattet mit einer Aufhängevorrichtung, geeignet für den Flüssigkeitsaustausch.

5.2 Dichtemessgerät

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Flüssigkeitsverdrängungsdichtemessgerät, Genauigkeit $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Gasverdrängungsdichtemessgerät (z. B. Heliumdichtemessgerät), Genauigkeit $\pm 0,001 \text{ g/cm}^3$.

5.3 Wasserbad mit konstanter Temperatur

Der Temperaturregelbereich beträgt 20–25 °C mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1 \text{ °C}$.

5.4 Ultraschallreiniger

Wird zum Reinigen der Probenoberfläche und zum Entfernen von Ölflecken und Blasen verwendet.

5.5 Becherglas oder Messzylinder

Fassungsvermögen 50 ml oder 100 ml, gemäß ISO 4788.

5.6 Trockenschrank

Temperatur 105 °C, wird zum Trocknen der Probe verwendet.

6 Reagenzien

6.1 Deionisiertes Wasser

Entspricht dem Primärwasserstandard ISO 3696, Dichte $0,9982 \text{ g/cm}^3$ (20 °C).

6.2 Ethanol

Analysequalität, Konzentration $\geq 99,5 \%$, Dichte $0,7893 \text{ g/cm}^3$ (20 °C).

6.3 Inerte Gase

Hochreines Helium (99,999 %), verwendet für die Gasersatzmethode.

7 Exemplare

7.1 Probenanforderungen

Form: Würfel, Zylinder oder unregelmäßiger Block, Seitenlänge bzw. Durchmesser $\geq 5 \text{ mm}$, Masse $\geq 5 \text{ g}$.

Oberflächenbeschaffenheit: Glatte Oberfläche, frei von Rissen ($< 5 \text{ }\mu\text{m}$), Poren (Porosität $< 0,05\%$) oder Ölflecken, bei Bedarf poliert.

Homogenität: Zusammensetzungsabweichung $< 0,1 \text{ Gew.}\%$, Korngrößenschwankung $< 5 \%$.

Menge: Nicht weniger als 3 Exemplare pro Charge.

7.2 Probenvorbereitung

Schneiden Sie die Proben aus Hartmetallrohlingen oder Fertigprodukten, um die Einführung von Spannungen ($< 100 \text{ MPa}$) zu vermeiden.

Verwenden Sie zur Bearbeitung der Oberfläche eine Diamantschleifscheibe oder Poliermaschine mit einer Rauheit $Ra \leq 0,4 \text{ }\mu\text{m}$.

Die Proben wurden 5 Minuten lang in Ethanol mit Ultraschall gereinigt, getrocknet (105 °C, 30

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Minuten) und auf Raumtemperatur abgekühlt.

8 Prüfmethoden

8.1 Flüssigkeitsersatzmethode

8.1.1 Prüfbedingungen

Flüssigkeitstemperatur: $20 \pm 0,5$ °C, Flüssigkeitsdichte aufzeichnen (Wasser $0,9982$ g/cm³, Ethanol $0,7893$ g/cm³).

Umgebungsfeuchtigkeit: <60 %.

8.1.2 Prüfschritte

Wiegen Sie die Masse der Probe in Luft mit einer Genauigkeit von $\pm 0,0001$ g.

Die Probe wird an einem dünnen Draht aufgehängt, in deionisiertes Wasser oder Ethanol getaucht und die suspendierte Masse wird gewogen.

Achten Sie darauf, dass keine Blasen an der Probe haften und entfernen Sie diese gegebenenfalls mit Ultraschall.

Wiederholen Sie die Messung dreimal und bilden Sie den Durchschnittswert.

Berechnen Sie die Dichte: $\rho = \frac{m_1}{V} = \frac{m_1}{m_2 - m_3} \times \rho_0$

8.2 Gasverdrängungsmethode

8.2.1 Prüfbedingungen

Temperatur: $20 \pm 0,5$ °C, druckstabil.

Instrumentenkalibrierung: Kalibrieren Sie mit Standardproben.

8.2.2 Prüfschritte

Legen Sie die Probe in die Probenkammer des Dichtemessgeräts und verschließen Sie diese.

Hochreines Helium wird eingeleitet und das Probenvolumen gemessen (Genauigkeit $\pm 0,01$ cm³).

Wiegen Sie die Probenmasse (m_1) mit einer Genauigkeit von $\pm 0,0001$ g.

Berechnen Sie die Dichte: $\rho = \frac{m_1}{V}$

Dabei ist V das durch Gasverdrängung gemessene Volumen (cm³).

Wiederholen Sie die Messung dreimal und ermitteln Sie den Durchschnittswert.

8.3 Datenverarbeitung

Als Endergebnis wurden drei Proben entnommen.

Wenn die Einzelpunktabweichung >0,5 % ist (z. B. ändert sich $14,90$ g/cm³ zu $15,00$ g/cm³), entfernen Sie sie und berechnen Sie neu.

Standardabweichungen werden innerhalb von $\pm 0,1$ % angegeben.

9 Ergebnisausdruck

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

wird in g/cm^3 mit 2 Nachkommastellen angegeben (zB 14,95 g/cm^3).

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

a) Standardnummer: GB/T 3850-2015; b) Probenbeschreibung: Marke, Charge, Größe; c) Prüfmethode: Flüssigkeitsverdrängungsmethode oder Gasverdrängungsmethode; d) Prüfbedingungen: Temperatur, Feuchtigkeit, Flüssigkeits-/Gastyp; e) Instrumentenmodell und Kalibrierungsstatus; f) Ergebnisse: Dichtemittelwert, Standardabweichung; g) Prüfdatum: beispielsweise 21. Mai 2025; h) Prüfer: Unterschrift.

10 Präzision und Bias

10.1 Präzision

Wiederholbarkeit: Die vom selben Bediener und mit demselben Gerät gemessene Dichteabweichung beträgt $<0,2\%$.

Reproduzierbarkeit: Die Dichteabweichung zwischen verschiedenen Laboren beträgt $<0,5\%$.

10.2 Verzerrung

Gerätefehler: $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ (Flüssigkeitsmethode), $\pm 0,001 \text{ g/cm}^3$ (Gasmethode).

Probenoberfläche: Blasenanhafungen oder Ölflecken führen zu einer Unterschätzung der Dichte um $0,1\text{--}0,3\%$.

Flüssigkeitstemperatur: $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$. Temperaturabweichungen beeinflussen die Dichte um $<0,02\%$.

11 Einflussfaktoren

11.1 Porosität

Eine Porosität $> 0,1\%$ reduziert die Dichte um $0,2\text{--}0,5 \text{ g/cm}^3$ und die Dichte sollte auf $> 99,5\%$ kontrolliert werden.

11.2 Kobaltgehalt

Eine Erhöhung des Kobaltgehalts ($6\text{--}15\%$) führt zu einer Erhöhung der Dichte (ca. $0,1 \text{ g/cm}^3 / 5\%$ Co), wird jedoch durch die Kohlenstoffbilanz beeinflusst.

11.3 Korngröße

Feine Körner ($0,2\text{--}0,5 \mu\text{m}$) weisen eine etwas höhere Dichte ($<0,1 \text{ g/cm}^3$) auf, während grobe Körner ($>5 \mu\text{m}$) durch den Einfluss von Poren eine geringere Dichte aufweisen.

11.4 Oberflächenbeschaffenheit

Unpolierte Oberflächen oder Mikrorisse führen zu Dichteschwankungen von $0,05\text{--}0,1 \text{ g/cm}^3$.

11.5 Testbedingungen

Hohe Temperaturen ($> 50\text{ }^\circ\text{C}$) oder Feuchtigkeit ($> 70\%$) können zu Änderungen der Flüssigkeitsdichte von $< 0,1\%$ führen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

12 Anwendung der Prüfergebnisse

12.1 Qualitätskontrolle:

Überprüfen Sie, ob die Dichte den Konstruktionsanforderungen entspricht, z. B. beträgt der Zielwert für YG6 $14,90 \pm 0,10 \text{ g/cm}^3$.

12.2 Prozessoptimierung

Eine niedrige Dichte deutet auf unzureichende Sinterung oder hohe Porosität hin. Passen Sie die Temperatur (1350–1450 °C) oder den Druck an.

12.3 Leistungsvorhersage

Eine Dichte $> 14,8 \text{ g/cm}^3$ entspricht einer hohen Härte ($\text{HRA} > 90$), während eine Dichte $< 14,5 \text{ g/cm}^3$ auf eine verringerte Zähigkeit hinweist.

12.4 Beispiel

: Bei der Herstellung von Tiefseebohrern gewährleistet YG8 mit einer Dichte von $14,70 \text{ g/cm}^3$ eine Härte von HRA 90 und eine Lebensdauer von > 300 Stunden.

13 Hinweise

13.1 Kalibrierung des Geräts

Kalibrieren Sie das Dichtemessgerät vor der Prüfung auf eine Abweichung von $< \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

13.2 Probenqualität

: Stellen Sie sicher, dass an der Probe keine Blasen anhaften und die Oberfläche poliert ist.

13.3 Die Temperatur im Prüfraum wird auf

$20\text{--}25 \text{ °C}$ geregelt und die Luftfeuchtigkeit liegt unter 60 %.

13.4 Sicherheitsschutz

Vermeiden Sie Flüssigkeitsspritzer während des Betriebs und tragen Sie eine Schutzbrille.

14 Anhang (Informativer Anhang)

Anhang A Typische Dichtewerte

Tabelle A.1 Dichte gängiger Hartmetallsorten

Marke	Kobaltgehalt (Gew.-%)	Korngröße (μm)	Dichte (g/cm^3)
YG6	6	1-2	14,85-14,95
YG8	8	2-3	14,65-14,75
YG10	10	2-4	14.40-14.50

Anhang B Fehleranalyse

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

B.1 Instrumentenfehler:

$\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ (Flüssigkeitsmethode), $\pm 0,001 \text{ g/cm}^3$ (Gasmethode).

B.2 Eine Probendefektporosität

von 0,1 % führt zu einem Dichteabfall von $0,2 \text{ g/cm}^3$.

B.3 Umgebungseinflusstemperatur

$\pm 1^\circ\text{C}$ bewirkt Dichteabweichung $< 0,02\%$.

Anhang C Verbesserungsvorschläge

C.1 Verwenden Sie ein hochpräzises Gasdichtemessgerät mit einem Fehler von $< \pm 0,0005 \text{ g/cm}^3$.

C.2

Verwenden Sie Vakuumtrocknung, um Oberflächenblasen zu entfernen und die Messkonsistenz zu verbessern. C.3 Führen Sie Röntgentomographie (CT) ein, um innere Poren zu erkennen.

Anhang D Testdatenbeispiele

Tabelle D.1 YG8 Hartmetall-Dichtetestdaten

Probenr.	Luftqualität (g)	Schwebende Masse (g)	Dichte (g/cm^3)	Durchschnittswert (g/cm^3)
YG8-001	5.123	4.578	14,72	14,70
YG8-002	5.126	4.582	14,69	14,70
YG8-003	5.125	4.580	14,70	14,70

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



GB/T 18376-2014 Prüfverfahren für die Mikrostruktur von Hartmetall

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt die Methoden zur Herstellung, Beobachtung und Bewertung der Hartmetall-Mikrostruktur fest. Das Verfahren ist anwendbar auf Hartmetallwerkstoffe und -produkte (wie YG6, YG8 und andere Güten) mit Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase. Die Mikrostruktureigenschaften, einschließlich Korngröße, Phasenzusammensetzung, Porosität und Defekte, werden mittels Lichtmikroskop oder Rasterelektronenmikroskop (REM) analysiert. Das Verfahren kann zur Qualitätskontrolle im Produktionsprozess, zur Produktabnahme und zur Leistungsbewertung in Forschung und Entwicklung eingesetzt werden.

Diese Norm gilt nicht für nicht kobaltbasierte Hartmetalle oder nichtmetallische Werkstoffe.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Norm von wesentlicher Bedeutung. Bei datierten Dokumenten gilt ausschließlich die datierte Fassung für diese Norm. Bei undatierten Dokumenten gilt die jeweils neueste Fassung (einschließlich aller Änderungen) für diese Norm.

GB/T 3848 Bestimmung des Kobaltgehalts in Hartmetall

GB/T 3850-2015 Verfahren zur Bestimmung der Dichte von Hartmetall

GB/T 13298-2015 Methoden zur Prüfung der Metallmikrostruktur

GB/T 4338 Methode zur Korrosion der Metallmikrostruktur

ISO 4499-2:2008 Prüfverfahren für die Mikrostruktur von Hartmetall Teil 2: Quantitative Phasenanalyse

ISO 3696 Spezifikation für Wasser für analytische Labore

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

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Mikrostruktur

Die strukturellen Eigenschaften von Hartmetall im mikroskopischen Maßstab, einschließlich Korngröße, Phasenverteilung, Poren und Defekten.

3.2 Hartmetall ist ein Verbundwerkstoff aus Wolframkarbid (WC)

als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase, der durch ein pulvermetallurgisches Verfahren hergestellt wird.

3.3 Korngröße

Der durchschnittliche Durchmesser der Körner der harten Phase (WC), üblicherweise in μm .

3.4 Porosität:

Der Volumenanteil der Poren im Hartmetall, der die Dichte des Materials widerspiegelt, mit der Einheit %.

3.5 η -Phase (Eta-Phase)

ist eine spröde Phase, die aufgrund eines unzureichenden Kohlenstoffgehalts entsteht. Ihre chemische Formel lautet $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$, was die Leistung beeinträchtigen kann.

3.6 Freier Kohlenstoff:

Aufgrund eines übermäßigen Kohlenstoffgehalts ausgeschiedener Kohlenstoff, der die Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur beeinträchtigt.

4 Grundsatz

Die Untersuchung der Hartmetall-Mikrostruktur erfolgt durch Probenvorbereitung, Korrosion und mikroskopische Betrachtung, um die inneren Struktureigenschaften zu analysieren. Während des Vorbereitungsprozesses wird die Probe geschnitten, geschliffen und poliert. Anschließend wird die Mikrostruktur mit einem Ätzmittel (z. B. Murakami-Reagenz) analysiert und anschließend mit einem optischen Mikroskop (100- bis 1000-fache Vergrößerung) oder einem Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht. Die Korngröße wird mit der Querschnittsmethode gemessen, und Porosität und Phasenzusammensetzung werden durch Bildanalyse quantitativ ausgewertet. Die mikrostrukturellen Eigenschaften hängen eng mit dem Sinterprozess, der Kohlenstoffbilanz und Defekten zusammen und können die Materialeigenschaften widerspiegeln.

5. Instrumente und Ausrüstung

5.1 Optisches Mikroskop

Vergrößerung 100x-1000x, ausgestattet mit Bildanalysesystem, Genauigkeit $\pm 0,1 \mu\text{m}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2 Rasterelektronenmikroskopie (REM)

Die Auflösung beträgt $\leq 0,1 \mu\text{m}$ und zur Phasenanalyse wird ein energiedispersives Spektrometer (EDS) verwendet.

5.3 Schneidemaschine

Ausgestattet mit Diamant-Trennscheibe und Kühlmittelschmierung zur Vermeidung thermischer Schäden.

5.4 Schleif- und Poliermaschine

Ausgestattet mit SiC-Schleifpapier (#200-#1200) und Diamantsuspension (Partikelgröße 1-3 μm), Oberflächenrauheit $R_a \leq 0,05 \mu\text{m}$.

5.5 Ultraschallreiniger

Wird zur Probenreinigung und Entfernung von Schleifmittelrückständen verwendet.

5.6 Konstanttemperaturbox

Regeln Sie die Trocknungstemperatur auf 105 °C mit einer Genauigkeit von $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

6 Reagenzien

6.1 Deionisiertes Wasser

Entspricht dem Wasserstandard ISO 3696, Klasse 1.

6.2 Murakami-Reagenz

Formel: 10 g $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ + 10 g KOH + 100 mL H_2O , Korrosionszeit 5-30 Sekunden, abhängig von der Probenreaktion.

6.3 Ethanol

Analytische Qualität, Konzentration $\geq 99,5 \%$, wird zur Reinigung verwendet.

7 Exemplare

7.1 Probenanforderungen

Form: rechteckig oder zylindrisch, Größe $\geq 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$, Masse $\geq 5 \text{ g}$.

Oberflächenbeschaffenheit: keine Risse ($< 5 \mu\text{m}$), Poren (Porosität $< 0,05 \%$) oder Oxidschicht.

Homogenität: Zusammensetzungsabweichung $< 0,1 \text{ Gew.}\%$, Korngrößenschwankung $< 5 \%$.

Menge: Nicht weniger als 3 Proben pro Charge, sehr repräsentativ.

7.2 Probenvorbereitung

Schneiden: Das Schneiden erfolgt mit einer kühlmittelgeschmierten Diamant-Trennscheibe senkrecht zur Sinterrichtung bei einer Drehzahl von $< 500 \text{ U/min}$.

Schleifen: Verwenden Sie nacheinander SiC-Schleifpapier Nr. 200, Nr. 400, Nr. 800 und Nr. 1200,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

wenden Sie einen Druck von 20–30 N an und die Zeit beträgt 2–3 Minuten/Stufe.

Polieren: Verwenden Sie 1–3 μm Diamantsuspension und ein Flanelltuch für 5–10 Minuten, Oberfläche $R_a \leq 0,05 \mu\text{m}$.

Reinigung und Trocknung: Ultraschallreinigung mit Ethanol für 5 Minuten, Trocknen bei 105 °C für 30 Minuten und Abkühlen auf Raumtemperatur.

8 Mikrostrukturdarstellung

8.1 Korrosion

Verwenden Sie das Murakami-Reagenz, um die Probenoberfläche 5–30 Sekunden lang anzugreifen (WC ist braun, Co ist weiß und die η -Phase ist grau), beobachten Sie die Reaktion und passen Sie die Zeit bei Bedarf an.

Nach der Korrosion mit deionisiertem Wasser abspülen, mit Ethanol entwässern und sofort trocknen.

8.2 Inspektion

Stellen Sie sicher, dass die Korrosion gleichmäßig ist, ohne Überkorrosion (unscharfe Korngrenzen) oder Unterkorrosion (fehlende Mikrostruktur).

9 Mikrostrukturprüfung

9.1 Beobachtungsmethoden

Optisches Mikroskop: Vergrößerung 500x-1000x, Beobachtung von Korngröße, Phasenverteilung, Poren und Defekten.

SEM: Vergrößerung 1000x–5000x, kombiniert mit EDS zur Analyse der Phasenzusammensetzung.

9.2 Korngrößenmessung

Nach der Querschnittsmethode (ISO 4499-2) wurden 100 WC-Körner in 10 Sichtfeldern zufällig gemessen und der Durchmesser mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1 \mu\text{m}$ gemittelt.

Geben Sie die durchschnittliche Korngröße und den Verteilungsbereich an.

9.3 Porositätsbewertung

Gemäß der Norm GB/T 13298-2015 werden Anzahl und Fläche der Poren gezählt und klassifiziert:

Typ A: kleine Poren ($<10 \mu\text{m}$);

Typ B: Makroporen ($10\text{--}25 \mu\text{m}$);

Typ C: Aggregate ($>25 \mu\text{m}$).

Porosität = $\text{Porenfläche} / \text{Gesamtfläche} \times 100 \%$, 2 Dezimalstellen beachten.

9.4 Analyse der Phasenzusammensetzung

Identifizieren Sie WC, Co, η -Phase und freien Kohlenstoff und analysieren Sie den Flächenanteil jeder Phase quantitativ mit einer Abweichung von $<1 \%$.

9.5 Mängelprüfung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Erkennen Sie Risse und Einschlüsse (wie Fe, Ni) und erfassen Sie deren Position, Größe und Verteilung.

10. Ergebnisausdruck

Die Korngröße wird in μm mit einer Nachkommastelle angegeben (z. B. 0,8 μm).

Die Porosität wird in % mit 2 Dezimalstellen angegeben (z. B. 0,05 %).

Die Phasenzusammensetzung wird als Flächenprozentsatz mit einer Dezimalstelle ausgedrückt (z. B. WC 90,5 %).

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

a) Standardnummer: GB/T 18376-2014; b) Probenbeschreibung: Marke, Charge, Größe; c) Vorbereitungsbedingungen: Schneiden, Schleifen, Polieren; d) Beobachtungsbedingungen: Vergrößerung, korrosives Mittel; e) Ergebnisse: Korngröße, Porosität, Phasenzusammensetzung, Defekte; f) Prüfdatum: beispielsweise 21. Mai 2025; g) Prüfer: Unterschrift.

11 Präzision und Bias

11.1 Präzision

Wiederholbarkeit: Die vom selben Bediener und derselben Ausrüstung gemessene Korngrößenabweichung beträgt weniger als 5 %, und die Porositätsabweichung beträgt weniger als 0,02 %.

Reproduzierbarkeit: Die von verschiedenen Laboren gemessene Korngrößenabweichung beträgt <10 %, die Porositätsabweichung <0,05 %.

11.2 Verzerrung

Instrumentenfehler: Mikroskop-Messfehler $\pm 0,1 \mu\text{m}$, SEM-Fehler <0,01 μm .

Präparationsfehler: Durch Schleifkratzer oder Überätzungen kann die Korngröße um 5-10 % überschätzt werden.

Probeninhomogenität: Eine Abweichung der Zusammensetzung >0,1 Gew.-% führt zu einer Porositätsschwankung von 0,1–0,2 %.

12 Einflussfaktoren

12.1 Sinterprozess

Die Temperatur (1350–1500 °C) beeinflusst das Kornwachstum, und bei über 1450 °C entstehen grobe Körner (> 2 μm).

Durch heißisostatisches Pressen (HIP, 150 MPa) wurde die Porosität reduziert (<0,01 %).

12.2 Kohlenstoffbilanz

Bei zu wenig Kohlenstoff bildet sich die η -Phase (grau, 5–10 %), während bei zu viel Kohlenstoff freier Kohlenstoff ausfällt (schwarz, < 2 %).

12.3 Korngröße

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Feine Körner (0,2–0,5 μm) haben eine geringe Porosität (<0,05 %), während grobe Körner (>5 μm) eine hohe Porosität (>0,1 %) haben.

12.4 Mängel

Einschlüsse (z. B. Fe 0,1 %) führen zu lokaler Porosität und Rissen von <0,05 mm.

13 Anwendung der Prüfergebnisse

13.1 Qualitätskontrolle

Die Korngröße beträgt 0,5–1,0 μm und die Porosität <0,05 %, was dem YG6-Standard entspricht.

13.2 Prozessoptimierung

Eine Porosität > 0,1 % weist auf unzureichendes Sintern hin. Passen Sie die Temperatur (1400 °C) oder den Druck an.

13.3 Leistungsvorhersage

Eine Kornverfeinerung (<0,5 μm) erhöht die Härte (HRA >91), während eine Zunahme der η -Phase die Zähigkeit verringert.

13.4 Beispiele

YG8-Werkzeug, Korngröße 1,0 μm , Porosität 0,03 %, gewährleistet eine Schnittlebensdauer von > 3 Stunden.

14 Hinweise

14.1 Gerätekalibrierung

Das Mikroskop wurde vor dem Test kalibriert, mit einem Fehler von $\leq \pm 0,1 \mu\text{m}$.

14.2 Probenqualität

Stellen Sie sicher, dass die Oberfläche der Probe keine Kratzer aufweist und die Korrosion gleichmäßig ist.

14.3 Umweltkontrolle

Die Temperatur im Testraum betrug 20–25 °C und die Luftfeuchtigkeit lag bei <60 %.

14.4 Sicherheitsschutz

Tragen Sie während des Betriebs eine Schutzbrille, um Spritzer ätzender Flüssigkeiten zu vermeiden.

15 Anhang (Informativer Anhang)

Anhang A Typische Mikrostrukturparameter

Tabelle A.1 Mikrostrukturelle Eigenschaften gängiger Hartmetallsorten

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

Marke	Kobaltgehalt (Gew.-%)	Korngröße (μm)	Porosität(%)	Zusammensetzung der Hauptphase (%)
YG6	6	0,6-0,8	0,02-0,05	WC 90, Co 10
YG8	8	0,8-1,0	0,03-0,06	WC 88, Co 12
YG10	10	1,0-1,2	0,04-0,07	WC 86, Co 14

Anhang B Fehleranalyse

B.1 Gerätefehler

Der Messfehler des Mikroskops beträgt $\pm 0,1 \mu\text{m}$ und beeinflusst die Korngröße um $< 1 \%$.

B.2 Präparationsmängel

Durch Überkorrosion wird die Porosität um $0,05-0,1 \%$ überschätzt.

B.3 Umweltauswirkungen

Eine Luftfeuchtigkeit von über 70% führt zu Oberflächenoxidation und beeinträchtigt die Phasenerkennung.

Anhang C Verbesserungsvorschläge

C.1 Verwenden Sie ein automatisches Bildanalysesystem, um die Genauigkeit der Korngrößenmessung zu verbessern ($< 0,05 \mu\text{m}$).

C.2 Verwenden Sie SEM-EDS, um Spuren der η -Phase mit einem quantitativen Fehler von $< 0,5 \%$ zu erkennen. C.3 Führen Sie Röntgenbeugung (XRD) ein, um die Konsistenz der Phasenzusammensetzung zu überprüfen.

Anhang D Testdatenbeispiele

Tabelle D.1 Testdaten zur Mikrostruktur von YG8-Hartmetall

Probennr.	Korngröße (μm)	Porosität(%)	Wassergehalt (%)	Co (%)	η -Phase (%)
YG8-001	0,9	0,04	88,2	11.6	0,2
YG8-002	0,8	0,03	88,5	11.4	0,1
YG8-003	0,9	0,05	88,0	11.8	0,2

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

GB/T 5314-2011 Pulver für die Pulvermetallurgie Probenahmemethoden - Chemische Zusammensetzung

1 Geltungsbereich

Dieser Abschnitt beschreibt die Methode zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung von Pulvern für die Pulvermetallurgie nach der Probenahme. Diese Methode ist auf Metallpulver (wie Eisenpulver, Kupferpulver, Wolframpulver, Kobaltpulver usw.) und Legierungspulver für die Pulvermetallurgie anwendbar und zielt darauf ab, deren chemische Zusammensetzung durch chemische Analyse zu bestimmen, einschließlich des Gehalts an Hauptelementen (wie Fe, Cu, W, Co usw.) und Verunreinigungselementen (wie C, O, S, P usw.). Diese Methode kann zur Qualitätskontrolle, Produktionsabnahme und Komponentenprüfung in Forschung und Entwicklung eingesetzt werden.

Diese Norm gilt nicht für nichtmetallische Pulver oder ultrafeine Nanopulver mit einer Partikelgröße von weniger als 10 µm (siehe GB/T 33822-2017).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Norm von wesentlicher Bedeutung. Bei datierten Dokumenten gilt ausschließlich die datierte Fassung für diese Norm. Bei undatierten Dokumenten gilt die jeweils neueste Fassung (einschließlich aller Änderungen) für diese Norm.

GB/T 223.1 Chemische Analysemethoden für Eisen, Stahl und Legierungen - Titrationsverfahren zur Bestimmung des Eisengehalts

GB/T 223.3 Chemische Analysemethoden für Eisen, Stahl und Legierungen - Bestimmung des Phosphorgehalts - Gravimetrische Dianthron-Phosphomolybdat-Methode

GB/T 223.4 Chemische Analysemethoden für Eisen, Stahl und Legierungen - Bestimmung des Mangangehalts - Potentiometrische Titration oder visuelle Titrationsmethode

GB/T 223.5 Chemische Analysemethoden für Stahl und Legierungen - Bestimmung des Siliziumgehalts - Silizium-Molybdänblau-Photometriemethode

GB/T 223.9 Chemische Analysemethoden für Eisen, Stahl und Legierungen - Bestimmung des Schwefelgehalts - Jodtitrationmethode

GB/T 223.23 Chemische Analysemethoden für Eisen, Stahl und Legierungen - Bestimmung des Kobaltgehalts - Photometrische Methode

GB/T 223.58 Chemische Analysemethoden für Eisen, Stahl und Legierungen - Bestimmung des Wolfrangehalts - Reduktionsgravimetrische Methode

GB/T 4336 Funkenentladungs-Atomemissionsspektrometrische Analysemethode für Kohlenstoffstahl und niedriglegierten Stahl

GB/T 5314-2011 Pulverprobenahmeverfahren für die Pulvermetallurgie

ISO 4490 Allgemeine Grundsätze für die Probenahme und chemische Analyse von Metallpulvern

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

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

3.1 Chemische Zusammensetzung Der Massenanteil (

Gew.-%) verschiedener Elemente in pulvermetallurgischem Pulver, einschließlich Hauptelementen und Verunreinigungselementen.

3.2 Probenahme

Der Prozess der Entnahme repräsentativer Proben aus einer Pulvercharge erfolgt gemäß GB/T 5314-2011.

3.3 Verunreinigungselemente:

Spurenelemente wie Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Schwefel (S), Phosphor (P) usw., die sich nachteilig auf die Pulvereigenschaften auswirken.

3.4 Pulver für die Pulvermetallurgie

Metall- oder Legierungspulver, die durch Zerstäubung, Reduktion oder chemische Verfahren hergestellt und für Press- und Sinterprozesse verwendet werden.

4 Grundsatz

Die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung erfolgt durch Auflösen oder direkte Analyse des Pulvers nach der Probenahme. Mittels chemischer Analysen (z. B. Titration, Gewichtsmethode) oder instrumenteller Analysen (z. B. Spektroskopie) wird der Gehalt jedes Elements bestimmt. Die Hauptelemente (z. B. Fe, Cu, W, Co) werden mit Standardmethoden quantifiziert, Verunreinigungselemente (z. B. C, O) mit speziellen Instrumenten bestimmt. Die Qualität und Gleichmäßigkeit der Probenahme wirken sich direkt auf die Genauigkeit der Ergebnisse aus. Die Probenahmeanforderungen von GB/T 5314-2011 müssen strikt eingehalten werden.

5. Instrumente und Ausrüstung

5.1 Analysenwaage

Genauigkeit $\pm 0,0001$ g, wird zum Wiegen von Proben verwendet.

5.2 Optisches Emissionsspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES)

Messbereich: ppm-Bereich bis Gew.-%-Bereich, Genauigkeit $\pm 0,1$ %.

5.3 Kohlenstoff- und Schwefelanalysator

Bestimmen Sie den C- und S-Gehalt mit einer Genauigkeit von $\pm 0,001$ Gew.-%.

5.4 Sauerstoff- und Stickstoffanalysator

Bestimmen Sie den O- und N-Gehalt mit einer Genauigkeit von $\pm 0,0005$ Gew.-%.

5.5 Titrationsapparatur

Ausgestattet mit potentiometrischem Titrator oder automatischem Titrator, Genauigkeit $\pm 0,01$ ml.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.6 Hochtemperaturofen

Temperaturbereich 1000–1500 °C, wird zum Schmelzen oder Verbrennen von Proben verwendet.

5.7 Ultraschallreiniger

Wird zur Probenreinigung und Entfernung von Oberflächenverunreinigungen verwendet.

6 Reagenzien

6.1 Salpetersäure (HNO₃)

Analytische Qualität, Konzentration 65 %–68 %.

6.2 Salzsäure (HCl)

Analytische Qualität, Konzentration 36 %–38 %.

6.3 Schwefelsäure (H₂SO₄)

Analytische Qualität, Konzentration 95 %–98 %.

6.4 Standardlösung

Wie beispielsweise Fe-, Cu-, W-, Co-Standardlösung, Konzentration 0,01 mol/l, gemäß GB/T 601.

6.5 Deionisiertes Wasser

Entspricht dem Wasserstandard ISO 3696, Klasse 1.

6.6 Flussmittel

Wie beispielsweise Na₂CO₃ oder Fe-Pulver, das zum Schmelzen von Proben verwendet wird.

7 Probenahme

7.1 Probenahmeverfahren

Gemäß GB/T 5314-2011 werden repräsentative Proben aus Pulverchargen mittels geschichteter Probenahme oder mechanischer Probenahme entnommen.

Probenahmestellen: mindestens 5 Stellen, mischen und verpacken.

7.2 Stichprobengröße

Nehmen Sie aus jeder Charge 50–100 g der Gesamtprobe und 0,5–2 g Probe zur Analyse.

7.3 Probenlagerung

In einem luftdichten Behälter aufbewahren, um Oxidation oder Feuchtigkeitsaufnahme zu vermeiden.

8 Prüfmethoden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.1 Probenvorbereitung

Wiegen Sie 0,5–2 g Pulver (Genauigkeit $\pm 0,0001$ g) ab und geben Sie es in einen Tiegel.
Geben Sie eine entsprechende Menge Flussmittel (z. B. 5 g Na_2CO_3) hinzu, schmelzen Sie es 30 Minuten lang in einem Hochtemperaturofen bei 1000–1200 °C und lösen Sie es nach dem Abkühlen in verdünnter Säure ($\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 1:1$).
das Volumen wurde mit deionisiertem Wasser auf 100 ml aufgefüllt.

8.2 Bestimmung der Hauptelemente

Eisen (Fe): Gemäß Titrationsmethode GB/T 223.1, Genauigkeit $\pm 0,01$ Gew.-%.
Kupfer (Cu): Gemäß GB/T 223.7 Jodtitrationmethode, Genauigkeit $\pm 0,01$ Gew.-%.
Wolfram (W): Gemäß GB/T 223.58 Reduktionsgewichtsmethode, Genauigkeit $\pm 0,05$ Gew.-%.
Kobalt (Co): Gemäß der photometrischen Methode GB/T 223.23, Genauigkeit $\pm 0,02$ Gew.-%.

8.3 Bestimmung von Verunreinigungselementen

Kohlenstoff (C): unter Verwendung eines Kohlenstoff-Schwefel-Analysators, Hochfrequenzverbrennungsmethode, Genauigkeit $\pm 0,001$ Gew.-%.
Schwefel (S): Gleich wie Kohlenstoff-Schwefel-Analysator, Genauigkeit $\pm 0,0005$ Gew.-%.
Sauerstoff (O): unter Verwendung eines Sauerstoff- und Stickstoffanalysators, Schmelz-Infrarot-Absorptionsmethode, Genauigkeit $\pm 0,0005$ Gew.-%.
Phosphor (P): Gemäß GB/T 223.3 Dianthronphosphomolybdat-Gewichtsmethode, Genauigkeit $\pm 0,001$ Gew.-%.

8.4 Instrumentelle Analyse (optional)

Mittels ICP-OES wurden mehrere Elemente gleichzeitig mit der Kalibrierkurvenmethode mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1$ % (Hauptelement) und ± 10 ppm (Verunreinigungen) bestimmt.
Die Probenlösung wird direkt injiziert und die Messwellenlänge entsprechend dem Standard ausgewählt.

8.5 Blindversuch

Führen Sie auf die gleiche Weise einen Blindversuch ohne Probenzugabe durch und ziehen Sie den Blindwert ab.

8.6 Datenverarbeitung

Als Endergebnis wurde der Durchschnitt aus drei Messungen genommen.
Wenn die Einzelpunktabweichung > 5 % ist (z. B. ändert sich Fe 98 % zu 103 %), entfernen Sie sie und berechnen Sie neu.
Die Ergebnisse werden in Gewichtsprozent mit 2 Dezimalstellen angegeben.

9 Ergebnisausdruck

Die chemische Zusammensetzung wird als Massenprozent (Gew.-%) mit 2 Dezimalstellen angegeben (z. B. Fe 98,50 %, C 0,02 %).
Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- a) Standardnummer: GB/T 5314-2011; b) Probenbeschreibung: Pulvertyp, Charge, Partikelgröße;
c) Probenahmemethode: gemäß GB/T 5314-2011; d) Prüfbedingungen: Temperatur, Feuchtigkeit;
e) Instrumentenmodell und Kalibrierungsstatus; f) Ergebnisse: Inhalt und Abweichung jedes Elements; g) Prüfdatum: beispielsweise 21. Mai 2025; h) Prüfer: Unterschrift.

10 Präzision und Bias

10.1 Präzision

Wiederholbarkeit: Die vom gleichen Bediener und mit der gleichen Ausrüstung gemessene Abweichung der Zusammensetzung beträgt $<0,5\%$ (Hauptelement) und $<0,01\%$ (Verunreinigung).

Reproduzierbarkeit: Die von verschiedenen Laboren gemessene Zusammensetzungsabweichung beträgt $<1\%$ (Hauptelement) und $<0,02\%$ (Verunreinigung).

10.2 Verzerrung

Gerätefehler: ICP-OES-Fehler $\pm 0,1\%$, Kohlenstoff-Schwefel-Gerätefehler $\pm 0,001\%$.

Stichprobenfehler: Ungleichmäßigkeit verursacht Abweichungen von $0,5\text{--}1\%$.

Probenverunreinigung: Durch Oberflächenoxidation wird der Sauerstoffgehalt um $0,01\text{--}0,05\%$ überschätzt.

11 Einflussfaktoren

11.1 Partikelgrößenverteilung

Partikel mit einer Partikelgröße von $<45\text{ }\mu\text{m}$ werden leicht oxidiert und der Sauerstoffgehalt erhöht sich um $0,02\text{--}0,05\%$.

11.2 Lagerbedingungen

Eine hohe Luftfeuchtigkeit ($> 70\%$) führt zu einer Feuchtigkeitsaufnahme der Oberfläche, wodurch die C- und O-Bestimmung um $0,01\text{--}0,03\%$ beeinträchtigt wird.

11.3 Schmelzprozess

Eine zu hohe Temperatur ($>1200^\circ\text{C}$) führt zur Verflüchtigung von Elementen (z. B. Co-Verlust von $0,1\%$).

11.4 Quellen von Verunreinigungen

Eine geringe Reinheit des Rohmaterials (z. B. Fe-Verunreinigung $S > 0,02\%$) beeinträchtigt die Ergebnisse.

12 Anwendung der Prüfergebnisse

12.1 Qualitätskontrolle

Überprüfen Sie, ob die Zusammensetzung den Spezifikationen entspricht, z. B. Fe-Pulver $\text{Fe} \geq 98\%$, $\text{C} \leq 0,02\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

12.2 Prozessoptimierung

Ein Sauerstoffgehalt von $> 0,1 \%$ weist auf eine unzureichende Reduktion hin. Passen Sie die Temperatur an ($800\text{--}1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

12.3 Leistungsvorhersage

S-Gehalt $< 0,01 \%$ und P-Gehalt $< 0,02 \%$ gewährleisten eine stabile Sinterleistung.

12.4 Beispiele

Wolframpulver $W \geq 99,9 \%$, $O < 0,05 \%$ wird für hochdichte Legierungen mit einer Dichte von $19,2 \text{ g/cm}^3$ verwendet.

13 Hinweise

13.1 Gerätekalibrierung

Das Analysegerät wurde vor der Prüfung kalibriert, die Abweichung betrug $\leq \pm 0,1 \%$.

13.2 Probenqualität

Stellen Sie sicher, dass die Proben frei von Verunreinigungen sind und trocken gelagert werden.

13.3 Umweltkontrolle

Die Temperatur im Testraum betrug $20\text{--}25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ und die Luftfeuchtigkeit lag bei $< 60 \%$.

13.4 Sicherheitsschutz

Tragen Sie während des Betriebs eine Schutzbrille, um Säurespritzer zu vermeiden.

14 Anhang (Informativer Anhang)

Anhang A Typische chemische Zusammensetzungsbereiche

Tabelle A.1 Chemische Zusammensetzung gängiger Pulvermetallurgiepulver

Pulvertyp	Hauptbestandteil (Gew.-%)	Obergrenze der Verunreinigungen (Gew.-%)
Eisenfächer	$Fe \geq 98,0$	$C \leq 0,02$, $O \leq 0,1$, $S \leq 0,01$
Kupferpulver	$Cu \geq 99,0$	$O \leq 0,1$, $Fe \leq 0,1$
Wolframpulver	$W \geq 99,9$	$C \leq 0,01$, $O \leq 0,05$
Kobaltpulver	$Co \geq 99,5$	$Fe \leq 0,1$, $O \leq 0,1$

Anhang B Fehleranalyse

B.1 Gerätefehler

ICP-OES-Fehler $\pm 0,1 \%$, Einfluss auf Hauptelemente $< 0,1 \%$.

B.2 Stichprobenfehler

Die Inhomogenität führt zu einer Fe-Abweichung von $0,5\text{--}1 \%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

B.3 Umweltauswirkungen

Bei einer Luftfeuchtigkeit von >70 % wurde der O-Gehalt um 0,02 % überschätzt.

Anhang C Verbesserungsvorschläge

C.1 Verwenden Sie das Vakuumschmelzverfahren, um die Abweichung bei der Bestimmung des Sauerstoffgehalts zu verringern.

C.2 Verwenden Sie hochpräzises ICP-MS, um Spurenverunreinigungen (<1 ppm) zu erkennen. C.3 Führen Sie ein automatisches Probenahmesystem ein, um die Einheitlichkeit zu verbessern.

Anhang D Testdatenbeispiele

Tabelle D.1 Testdaten zur chemischen Zusammensetzung von Eisenpulver

Probennr.	Fe (Gew.-%)	C (Gew.-%)	O (Gew.-%)	S (Gew.-%)	Durchschnittlicher (Gew.-%)	Fe-Gehalt
Fe-001	98,52	0,015	0,082	0,008	98,50	
Fe-002	98,48	0,014	0,080	0,007	98,50	
Fe-003	98,50	0,016	0,085	0,009	98,50	

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

GB/T 5169-2013 Prüfverfahren für die Porosität von Hartmetall

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Prüfverfahren für die Porosität von Hartmetall fest. Das Verfahren ist anwendbar auf Hartmetallwerkstoffe und -produkte (z. B. Güten YG6, YG8 usw.) mit Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase. Die Porosität (Einheit: %) wird metallographisch oder bildanalytisch bestimmt und umfasst Poren vom Typ A (kleine Poren), Typ B (große Poren) und Typ C (Aggregatporen). Das Verfahren eignet sich zur Qualitätskontrolle im Produktionsprozess, zur Produktabnahme und zur Leistungsbewertung in Forschung und Entwicklung.

Diese Norm gilt nicht für Hartmetalle mit signifikanten nichtmetallischen Einschlüssen oder für nicht auf Kobalt basierende Hartmetalle.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Norm von wesentlicher Bedeutung. Bei datierten Dokumenten gilt ausschließlich die datierte Fassung für diese Norm. Bei undatierten Dokumenten gilt die jeweils neueste Fassung (einschließlich aller Änderungen) für diese Norm.

GB/T 18376-2014 Prüfverfahren für die Mikrostruktur von Hartmetall

GB/T 3850-2015 Verfahren zur Bestimmung der Dichte von Hartmetall

GB/T 13298-2015 Methoden zur Prüfung der Metallmikrostruktur

GB/T 4338 Methode zur Korrosion der Metallmikrostruktur

ASTM B276 Bestimmung der scheinbaren Porosität von Hartmetall

ISO 4505 Methode zur Bewertung der Mikrostruktur von Hartmetall

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Porosität

Der Volumenanteil der Poren in Hartmetall spiegelt die Dichte des Materials wider. Die Einheit ist %, wobei in Typ A (Durchmesser $<10\ \mu\text{m}$), Typ B (Durchmesser $10\text{--}25\ \mu\text{m}$) und Typ C (Durchmesser $>25\ \mu\text{m}$) unterteilt werden kann.

3.2 Hartmetall ist ein Verbundwerkstoff aus Wolframkarbid (WC)

als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase, der durch ein pulvermetallurgisches Verfahren hergestellt wird.

3.3 Metallografische Methode:

Eine Methode zur quantitativen Bestimmung der Porosität durch Probenvorbereitung, Korrosion und mikroskopische Beobachtung.

3.4 Bildanalysemethode:

Diese Methode verwendet Bildverarbeitungstechnologie, um Porendaten aus Mikroskop- oder

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rasterelektronenmikroskopbildern (REM) zu extrahieren.

4 Grundsatz

Die Porositätsprüfung von Hartmetall basiert auf der Beobachtung der Querschnittsmikrostruktur der Probe nach der Vorbereitung durch ein optisches Mikroskop oder REM sowie der Identifizierung und Klassifizierung von Poren (Typ A, B und C). Die metallografische Methode berechnet die Porosität durch manuelles oder automatisches Zählen der Anzahl und Fläche der Poren; die Bildanalyse nutzt Software zur Verarbeitung der Bilddaten und zur automatischen Messung der Porenverteilung und des Porenanteils. Die Porosität hängt eng mit dem Sinterprozess, dem Kohlenstoffhaushalt und der Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur zusammen und beeinflusst die Materialeigenschaften.

5. Instrumente und Ausrüstung

5.1 Optisches Mikroskop

Vergrößerung 100x-1000x, ausgestattet mit Bildanalysesystem, Genauigkeit $\pm 0,1 \mu\text{m}$.

5.2 Rasterelektronenmikroskopie (REM)

Die Auflösung beträgt $\leq 0,1 \mu\text{m}$ und es ist mit einem energiedispersiven Spektrometer (EDS) zur Analyse der Poreneigenschaften ausgestattet.

5.3 Schneidemaschine

Ausgestattet mit Diamant-Trennscheibe und Kühlmittelschmierung zur Vermeidung thermischer Schäden.

5.4 Schleif- und Poliermaschine

Ausgestattet mit SiC-Schleifpapier (#200-#1200) und Diamantsuspension (Partikelgröße 1-3 μm), Oberflächenrauheit $R_a \leq 0,05 \mu\text{m}$.

5.5 Ultraschallreiniger

Wird zur Probenreinigung und Entfernung von Schleifmittlrückständen verwendet.

5.6 Konstanttemperaturbox

Regeln Sie die Trocknungstemperatur auf 105 °C mit einer Genauigkeit von $\pm 2 \text{ °C}$.

6 Reagenzien

6.1 Deionisiertes Wasser

Entspricht dem Wasserstandard ISO 3696 Klasse I.

6.2 Murakami-Reagenz

Formel: 10 g $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ + 10 g KOH + 100 mL H_2O , Korrosionszeit 5-30 Sekunden, abhängig von der Probenreaktion.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6.3 Ethanol

Analytische Qualität, Konzentration $\geq 99,5\%$, wird zur Reinigung verwendet.

7 Exemplare

7.1 Probenanforderungen

Form: rechteckig oder zylindrisch, Größe $\geq 10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 5\text{ mm}$, Masse $\geq 5\text{ g}$.

Oberflächenbeschaffenheit: keine Risse ($< 5\text{ }\mu\text{m}$) oder Oxidschicht, Porosität $< 0,5\%$.

Homogenität: Zusammensetzungsabweichung $< 0,1\text{ Gew.}\%$, Korngrößenschwankung $< 5\%$.

Menge: Nicht weniger als 3 Proben pro Charge, sehr repräsentativ.

7.2 Probenvorbereitung

Schneiden: Das Schneiden erfolgt mit einer kühlmittegeschmierten Diamant-Trennscheibe senkrecht zur Sinterrichtung bei einer Drehzahl von $< 500\text{ U/min}$.

Schleifen: Verwenden Sie nacheinander SiC-Schleifpapier Nr. 200, Nr. 400, Nr. 800 und Nr. 1200, wenden Sie einen Druck von 20–30 N an und die Zeit beträgt 2–3 Minuten/Stufe.

Polieren: Verwenden Sie 1–3 μm Diamantsuspension und ein Flanelltuch für 5–10 Minuten, Oberfläche $R_a \leq 0,05\text{ }\mu\text{m}$.

Reinigung und Trocknung: Ultraschallreinigung mit Ethanol für 5 Minuten, Trocknen bei $105\text{ }^\circ\text{C}$ für 30 Minuten und Abkühlen auf Raumtemperatur.

8 Mikrostrukturdarstellung

8.1 Korrosion

Verwenden Sie das Murakami-Reagenz, um die Probenoberfläche 5–30 Sekunden lang zu korrodieren (WC ist braun, Co ist weiß und die Poren sind schwarz), beobachten Sie die Reaktion und passen Sie die Zeit gegebenenfalls an.

Nach der Korrosion mit deionisiertem Wasser abspülen, mit Ethanol entwässern und sofort trocknen.

8.2 Inspektion

Sorgen Sie für eine gleichmäßige Korrosion ohne Überkorrosion (unscharfe Korngrenzen) oder Unterkorrosion (nicht erkennbare Porosität).

9 Porositätsprüfung

9.1 Metallographie

Beobachtung: Verwenden Sie ein optisches Mikroskop mit einer 500- bis 1000-fachen Vergrößerung und beobachten Sie 10 zufällig ausgewählte Sichtfelder.

Messung: Zählen Sie manuell die Anzahl der Poren vom Typ A, B und C und messen Sie die Porenfläche (Genauigkeit $\pm 0,1\text{ }\mu\text{m}^2$).

Berechnung: Porosität = Gesamt-porenfläche/Gesamtfeldfläche $\times 100\%$, 2 Dezimalstellen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

beibehalten.

9.2 Bildanalyse

Beobachtung: Verwenden Sie ein SEM oder ein hochauflösendes optisches Mikroskop mit einer Vergrößerung von 1000x bis 5000x und machen Sie 10 Bilder.

Analyse: Verwenden Sie eine Bildverarbeitungssoftware (z. B. ImageJ), um Poren automatisch zu identifizieren, sie in die Typen A, B und C zu klassifizieren und den Flächenanteil zu berechnen.

Überprüfung: Wiederholen Sie die Messung dreimal und bilden Sie den Durchschnittswert. Die Abweichung beträgt $<0,02\%$.

9.3 Porenklassifizierung

Typ A: Durchmesser $<10\ \mu\text{m}$, kleine Poren.

Typ B: $10\text{--}25\ \mu\text{m}$ Durchmesser, große Poren.

Typ C: Durchmesser $>25\ \mu\text{m}$, Aggregate.

10. Ergebnisausdruck

Die Porosität wird in % mit 2 Dezimalstellen angegeben (z. B. $0,05\%$).

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

- a) Standardnummer: GB/T 5169-2013; b) Probenbeschreibung: Marke, Charge, Größe; c) Vorbereitungsbedingungen: Schneiden, Schleifen, Polieren; d) Prüfmethode: metallografische Methode oder Bildanalysemethode; e) Ergebnis: Gesamtporosität und Verteilung der Typen A, B, C; f) Prüfdatum: beispielsweise 21. Mai 2025; g) Unterschrift des Prüfers.

11 Präzision und Bias

11.1 Präzision

Wiederholbarkeit: Die vom selben Bediener und derselben Ausrüstung gemessene Porositätsabweichung beträgt $<0,02\%$.

Reproduzierbarkeit: Die Porositätsabweichung zwischen verschiedenen Laboren beträgt $<0,05\%$.

11.2 Verzerrung

Instrumentenfehler: Mikroskop-Messfehler $\pm 0,1\ \mu\text{m}$, Einfluss $<0,01\%$.

Präparationsfehler: Durch Schleifkratzer oder Überätzen kann die Porosität um $0,02\text{--}0,05\%$ überschätzt werden.

Inhomogenität der Probe: Eine Abweichung der Zusammensetzung $>0,1\ \text{Gew.}\%$ führt zu einer Porositätsschwankung von $0,1\%$.

12 Einflussfaktoren

12.1 Sinterprozess

Die Temperatur ($1350\text{--}1500\ ^\circ\text{C}$) beeinflusst die Porosität, und bei $>1450\ ^\circ\text{C}$ nehmen die Poren vom

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Typ B und C zu ($>0,1\%$).

Durch Heißisostatisches Pressen (HIP, 150 MPa) wurde die Gesamtporosität reduziert ($<0,01\%$).

12.2 Kohlenstoffbilanz

Bei zu wenig Kohlenstoff bildet sich die η -Phase, wodurch die Porosität um $0,05\text{--}0,1\%$ zunimmt; bei zu viel Kohlenstoff wird freier Kohlenstoff abgeschieden, was einen Einfluss von $<0,02\%$ hat.

12.3 Korngröße

Feine Körner ($0,2\text{--}0,5\text{ }\mu\text{m}$) haben eine geringe Porosität ($<0,03\%$), während grobe Körner ($>5\text{ }\mu\text{m}$) eine hohe Porosität ($>0,15\%$) haben.

12.4 Mängel

Einschlüsse (z. B. Fe $0,1\%$) führen zu einer lokalen Porositterhhung von $0,05\text{--}0,1\%$.

13 Anwendung der Prüfergebnisse

13.1 Qualitätskontrolle

Porosität $<0,05\%$ entspricht dem YG6-Standard und gewährleistet eine Härte HRA >90 .

13.2 Prozessoptimierung

Eine Porosität $>0,1\%$ weist auf unzureichendes Sintern hin. Passen Sie die Temperatur ($1400\text{ }^{\circ}\text{C}$) oder den Druck an.

13.3 Leistungsvorhersage

Eine Porosität $<0,03\%$ entspricht einer hohen Biegefestigkeit ($>2000\text{ MPa}$), $>0,1\%$ verringert die Zähigkeit.

13.4 Beispiele

YG8-Werkzeug, Porosität $0,04\%$, Schnittlebensdauer >3 Stunden.

14 Hinweise

14.1 Gerätekalibrierung

Das Mikroskop wurde vor dem Test kalibriert, mit einem Fehler von $\pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$.

14.2 Probenqualität

Stellen Sie sicher, dass die Oberfläche der Probe keine Kratzer aufweist und die Korrosion gleichmäßig ist.

14.3 Umweltkontrolle

Die Temperatur im Testraum betrug $20\text{--}25\text{ }^{\circ}\text{C}$ und die Luftfeuchtigkeit lag bei $<60\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

14.4 Sicherheitsschutz

Tragen Sie während des Betriebs eine Schutzbrille, um Spritzer ätzender Flüssigkeiten zu vermeiden.

15 Anhang (Informativer Anhang)

Anhang A Typischer Porositätsbereich

Tabelle A.1 Porosität gängiger Hartmetallsorten

Marke	Kobaltgehalt (Gew.-%)	Korngröße (μm)	Porosität(%)
YG6	6	0,6-0,8	0,02-0,05
YG8	8	0,8-1,0	0,03-0,06
YG10	10	1,0-1,2	0,04-0,07

Anhang B Fehleranalyse

B.1 Gerätefehler

Der Messfehler des Mikroskops beträgt $\pm 0,1 \mu\text{m}$, was die Porosität um $<0,01 \%$ beeinflusst.

B.2 Präparationsmängel

Durch Überkorrosion wird die Porosität um $0,02-0,05 \%$ überschätzt.

B.3 Umweltauswirkungen

Eine Luftfeuchtigkeit von über 70% führt zu Oberflächenoxidation, die die Messung um $0,01 \%$ beeinflusst.

Anhang C Verbesserungsvorschläge

C.1 Verwenden Sie Röntgentomografie (CT), um innere Porosität mit einer Genauigkeit von $<0,01 \%$ zu erkennen.

C.2 Verwenden Sie ein automatisches Bildanalysesystem, um die Konsistenz der Porositätsmessung zu verbessern. C.3 Führen Sie einen Vakuumsinterprozess ein, um die anfängliche Porosität zu reduzieren.

Anhang D Testdatenbeispiele

Tabelle D.1 Testdaten der Porosität von YG8 Hartmetall

Probenr.	Typ A (%)	Typ B (%)	Typ C (%)	Gesamtporosität (%)	Durchschnittswert (%)
YG8-001	0,02	0,01	0,00	0,03	0,04
YG8-002	0,03	0,01	0,01	0,05	0,04
YG8-003	0,02	0,02	0,00	0,04	0,04

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 12444-2006 Prüfverfahren für die Verschleißfestigkeit von Metallen und Legierungen

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Prüfverfahren für die Verschleißfestigkeit von Metallen und Legierungen fest. Das Verfahren ist auf Metalle und Legierungen (wie Stahl, Aluminiumlegierungen, Kupferlegierungen usw.) und deren Oberflächenbeschichtungen anwendbar. Durch Verschleißtests unter kontrollierten Laborbedingungen wird die Verschleißfestigkeit von Materialien bewertet, einschließlich Verschleiß durch geringe Beanspruchung (Kratzverschleiß), Verschleiß durch hohe Beanspruchung (Schlagverschleiß) und Gleitverschleiß. Dieses Verfahren kann zur Materialauswahl, Qualitätskontrolle, Produktionsabnahme und Bewertung der Verschleißfestigkeit in Forschung und Entwicklung eingesetzt werden.

Diese Norm ist nicht anwendbar auf nichtmetallische Werkstoffe oder Verschleiß in extremen Umgebungen (wie beispielsweise hohen Temperaturen $> 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ oder stark korrosiven Umgebungen).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Norm von wesentlicher Bedeutung. Bei datierten Dokumenten gilt ausschließlich die datierte Fassung für diese Norm. Bei undatierten Dokumenten gilt die jeweils neueste Fassung (einschließlich aller Änderungen) für diese Norm.

GB/T 6394 Abmessungen und Herstellungsverfahren für Metallprüfkörper

GB/T 10610 Bestimmung der Oberflächenrauheit metallischer Werkstoffe

GB/T 13298-2015 Methoden zur Prüfung der Metallmikrostruktur

ASTM G65 Standardprüfverfahren für den Abriebtest mit trockenen Sand-/Gummirädern

ASTM D4060 Standardprüfverfahren für die Abriebfestigkeit organischer Beschichtungen mit dem Taber-Abriebgerät

ISO 8251 Bestimmung der Verschleißfestigkeit von anodischen Oxidschichten auf Aluminium und seinen Legierungen

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Verschleißfestigkeit

Die Fähigkeit eines Metalls oder einer Legierung, dem Verlust von Oberflächenmaterial unter bestimmten Verschleißbedingungen zu widerstehen, die normalerweise durch Massenverlust, Volumenverlust oder Verschleißtiefe gekennzeichnet sind.

3.2 Schwachbeanspruchter Abrieb:

Verschleiß durch leichtes Kratzen oder Gleiten, häufig in Umgebungen mit geringer Belastung und geringer Beanspruchung.

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

3.3 Hochspannungsabrieb:

Verschleiß durch hohe Belastung oder Stöße, oft begleitet von plastischer Verformung oder Bruch der Materialoberfläche.

3.4 Gleitverschleiß

Materialverlust durch Reibung, wenn zwei Oberflächen relativ zueinander gleiten.

3.5 Verschleißrate

Die Menge des Materialverlusts pro Zeiteinheit oder Gleitweeinheit, ausgedrückt in g/m oder mm³/N·m.

4 Grundsatz

Die Verschleißfestigkeit von Metallen und Legierungen wird durch Verschleißtests unter kontrollierten Laborbedingungen bewertet. Zu den Testmethoden gehören der Trockensand-/Gummiradtest (Verschleiß bei geringer Belastung), der Taber-Abriebtest (Gleitverschleiß) und der Schlagverschleißtest, die verschiedene Verschleißmechanismen simulieren. Die Verschleißfestigkeit wird durch Messung des Masseverlusts, Volumenverlusts oder der Verschleißtiefe der Probe vor und nach dem Test charakterisiert. Die Testbedingungen (wie Belastung, Geschwindigkeit, Schleifmittelart) wirken sich direkt auf die Ergebnisse aus und müssen streng kontrolliert werden.

5. Instrumente und Ausrüstung

5.1 Analysenwaage

Genauigkeit: ±0,0001 g, wird zum Wiegen der Probenmasse verwendet.

5.2 Trockensand-/Gummiradprüfmaschine

Erfüllt die Anforderungen von ASTM G65, Gummiradhärte 60–70 Shore A, Sanddurchflussrate 300–400 g/min.

5.3 Taber-Abriebprüfgerät

Erfüllt die Anforderungen von ASTM D4060 mit Schleifscheiben des Typs CS-17 oder H-18, Tragkraft 500–1000 g.

5.4 Schlagverschleißprüfmaschine

Simulieren Sie Verschleiß durch hohe Beanspruchung, Schlagfrequenz 50–100 Mal/min, Belastung 10–50 N.

5.5 Mikroskop

Vergößerung 50x-500x, wird zur Beobachtung der Verschleißmorphologie verwendet.

5.6 Oberflächenrauheitsmessgerät

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Entspricht GB/T 10610, Messbereich Ra 0,01–10 µm.

6 Reagenzien und Materialien

6.1 Standard-Schleifmittel

Trockensand: natürlicher Quarzsand, Partikelgröße 50–70 Mesh, gemäß ASTM G65.

Taber-Räder: CS-17 (mittlere Härte) oder H-18 (hohe Härte).

6.2 Ethanol

Analytische Qualität, Konzentration $\geq 99,5\%$, wird zur Reinigung verwendet.

6.3 Deionisiertes Wasser

Entspricht dem Wasserstandard ISO 3696, Klasse 1.

7 Exemplare

7.1 Probenanforderungen

Form: Rechteckig oder kreisförmig, Abmessungen 76 mm × 25 mm × 6 mm (Trockensand-/Gummiradtest) oder 100 mm Durchmesser × 3 mm Dicke (Taber-Test).

Oberflächenbeschaffenheit: glatte Oberfläche, keine Risse, Rauheit $Ra \leq 0,8\text{ }\mu\text{m}$.

Menge: Mindestens 3 Exemplare für jede Bedingung.

Homogenität: Zusammensetzungsabweichung $< 0,1\text{ Gew.}\%$.

7.2 Probenvorbereitung

Die Proben wurden gemäß GB/T 6394 geschnitten und die Oberflächen mit SiC-Schleifpapier Nr. 600–1200 geschliffen.

Die Proben wurden 5 Minuten lang mit Ethanol ultraschallgereinigt und nach dem Trocknen gewogen ($\pm 0,0001\text{ g}$).

8 Prüfmethoden

8.1 Trockensand-/Gummiradtest (geringer Spannungsverschleiß)

8.1.1 Prüfbedingungen

Belastung: 130 N.

Sanddurchflussrate: 300–400 g/min.

Testzeit: 6000 U/min (ca. 30 Minuten).

Umgebung: Temperatur $23 \pm 2^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit $50 \pm 5\%$.

8.1.2 Prüfschritte

Befestigen Sie die Probe an der Vorrichtung der Prüfmaschine und stellen Sie das Gummirad so ein, dass es die Probe berührt.

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

Starten Sie den Sandfluss, drehen Sie das Gummirad und zeichnen Sie die Masse zu Beginn des Tests auf (W_1).

Nach der Prüfung wird die Probe entnommen, gereinigt, getrocknet und gewogen (W_2).

Berechnen Sie den Massenverlust: $\Delta W = W_1 - W_2$

Die Messung wurde 3-mal wiederholt und der Durchschnittswert mit einer Abweichung von $<5\%$ ermittelt.

8.2 Taber-Verschleißtest (Gleitverschleiß)

8.2.1 Prüfbedingungen

Schleifscheibe: CS-17 (mittlerer Verschleiß).

Belastung: 1000 g.

Rotationsgeschwindigkeit: 60 U/min.

Testzyklus: 10000 Umdrehungen.

Umgebung: Temperatur $23 \pm 2^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit $50 \pm 5\%$.

8.2.2 Prüfschritte

Befestigen Sie die Probe auf dem Drehtisch der Taber-Prüfmaschine und installieren Sie die Schleifscheibe.

Notieren Sie die Masse zu Beginn des Tests (W_1).

Starten Sie die Prüfmaschine, lassen Sie sie mit 10.000 Umdrehungen laufen und reinigen Sie sie regelmäßig von Schleifrückständen.

Nach der Prüfung wird die Probe gereinigt und gewogen (W_2).

Berechnen Sie den Massenverlust: $\text{磨耗指数} = \frac{\Delta W}{\text{时间数}} \times 1000$

Die Messung wurde 3-mal wiederholt und der Durchschnittswert mit einer Abweichung von $<5\%$ ermittelt.

8.3 Schlagverschleißprüfung (Hochspannungverschleiß)

8.3.1 Prüfbedingungen

Belastung: 20 N.

Schlagfrequenz: 60 Mal/min.

Testdauer: 30 Minuten.

Umgebung: Temperatur $23 \pm 2^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit $50 \pm 5\%$.

8.3.2 Prüfschritte

Befestigen Sie die Probe an der Vorrichtung des Schlagprüfgeräts und passen Sie die Position des Schlagkopfes an.

Notieren Sie die Masse zu Beginn des Tests (W_1).

Starten Sie die Prüfmaschine, lassen Sie sie 30 Minuten lang laufen und zeichnen Sie die Anzahl der Schläge auf.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nach der Prüfung wird die Probe gereinigt und gewogen (W_2).

Berechnen Sie den Massenverlust: $\Delta W = W_1 - W_2$

Die Messung wurde 3-mal wiederholt und der Durchschnittswert mit einer Abweichung von <5 % ermittelt.

9 Ergebnisausdruck

Der Masseverlust wird in Gramm mit vier Nachkommastellen angegeben (z. B. 0,0123 g).

Der Verschleißindex wird in mg/1000 Umdrehungen mit einer Dezimalstelle angegeben (z. B. 1,2 mg/1000 Umdrehungen).

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

a) Normnummer: GB/T 12444-2006; b) Probenbeschreibung: Materialmarke, Größe, Oberflächenbeschaffenheit; c) Prüfmethode: Trockensand/Gummirad, Taber-Abrieb oder Schlagverschleiß; d) Prüfbedingungen: Belastung, Geschwindigkeit, Schleifmittelart; e) Ergebnis: Massenverlust oder Verschleißindex; f) Prüfdatum: beispielsweise 21. Mai 2025; g) Unterschrift des Prüfers.

10 Präzision und Bias

10.1 Präzision

Wiederholbarkeit: Die Abweichung des Massenverlusts, gemessen vom gleichen Bediener und mit der gleichen Ausrüstung, beträgt <5 %.

Reproduzierbarkeit: Die Abweichung des von verschiedenen Laboren gemessenen Masseverlusts beträgt <10 %.

10.2 Verzerrung

Gerätefehler: Waagenfehler $\pm 0,0001$ g, Einfluss <1 %.

Schleifabweichung: Durch die Ungleichmäßigkeit der Körnung schwankt der Massenverlust um 2-5 %.

Umwelteinflüsse: Eine Luftfeuchtigkeit von >60 % führt zu Oberflächenoxidation, die <2 % betrifft.

11 Einflussfaktoren

11.1 Werkstoffhärte

Eine hohe Härte (z. B. HRC >60) bietet eine gute Verschleißfestigkeit und reduziert den Masseverlust um 10–20 %.

11.2 Oberflächenrauheit

$R_a > 1,0 \mu\text{m}$ erhöht den Verschleiß und den Masseverlust um 5–10 %.

11.3 Abrasive Eigenschaften

Eine Erhöhung der Sandpartikelgröße (> 70 Maschenweite) führt zu stärkerem Verschleiß und einem um 10–15 % höheren Masseverlust.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

11.4 Prüfbedingungen

Durch eine Erhöhung der Belastung (130 N auf 150 N) erhöhte sich der Masseverlust um 5–8 %.

12 Anwendung der Prüfergebnisse

12.1 Materialauswahl

Massenverlust <0,01 g. Erfüllt hohe Anforderungen an die Verschleißfestigkeit und ist für Bergbaugeräte geeignet.

12.2 Prozessoptimierung

Ein Massenverlust > 0,05 g deutet auf eine unzureichende Wärmebehandlung hin und die Abschrecktemperatur sollte angepasst werden (900 °C).

12.3 Leistungsvorhersage

Ein Verschleißindex von <1,5 mg/1000 Umdrehungen entspricht einer Lebensdauer von >10 Jahren.

12.4 Beispiele

45# Stahl, Trockensand-Testmassenverlust 0,008 g, verwendet für Baggerschaufeln, Lebensdauer > 5000 Stunden.

13 Hinweise

13.1 Gerätekalibrierung

Die Prüfmaschine wurde vor dem Test kalibriert und die Lastabweichung betrug $\leq \pm 1$ %.

13.2 Probenqualität

Stellen Sie sicher, dass die Oberfläche der Probe sauber ist und eine gleichmäßige Rauheit aufweist.

13.3 Umweltkontrolle

Die Temperatur im Testraum betrug 23 ± 2 °C und die Luftfeuchtigkeit 50 ± 5 %.

13.4 Sicherheitsschutz

Tragen Sie während des Betriebs eine Schutzbrille, um Sandspritzer zu vermeiden.

14 Anhang (Informativer Anhang)

Anhang A Typische Verschleißfestigkeitsdaten

Tabelle A.1 Massenverlust gängiger Metalle und Legierungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Material	Testmethoden	Massenverlust (g)	Verschleißindex (mg/1000 Umdrehungen)
45# Stahl	Trockensand/Gummirad	0,008	-
Edelstahl 304	Taber Wear	0,012	1.2
Aluminiumlegierung 6061	Aufprall	0,015	-

Anhang B Fehleranalyse

B.1 Gerätefehler

Der Waagenfehler beträgt $\pm 0,0001$ g und der Einfluss ist < 1 %.

B.2 Schleifabweichung

Durch die Inhomogenität der Sandpartikel schwankt der Masseverlust um 2-5 %.

B.3 Umweltauswirkungen

Eine Luftfeuchtigkeit von > 60 % führt zu Oberflächenoxidation, die < 2 % betrifft.

Anhang C Verbesserungsvorschläge

C.1 Verwenden Sie ein Lasermikroskop, um die Verschleißtiefe genau zu messen ($< 0,01$ μm).

C.2 Verwenden Sie standardisierte Schleifmittel, um Abweichungen zu reduzieren. C.3 Führen Sie ein Echtzeit-Überwachungssystem ein, um die Testkonsistenz zu verbessern.

Anhang D Testdatenbeispiele

Tabelle D.1 45# Stahl Trockensand/Gummirad Testdaten

Probenr.	Masse vor dem Test (g)	Masse nach dem Test (g)	Massenverlust (g)	Durchschnittswert (g)
45#-001	50,1234	50.1156	0,0078	0,0080
45#-002	50,1250	50.1169	0,0081	0,0080
45#-003	50.1242	50.1160	0,0082	0,0080

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

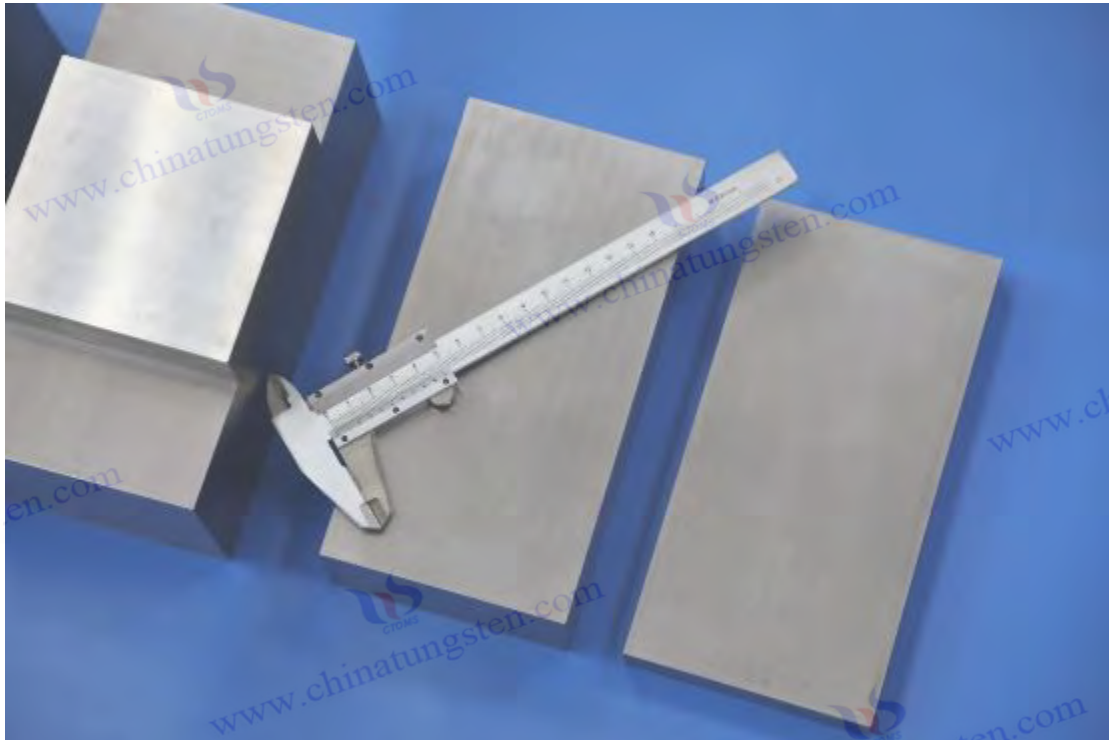
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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



GB/T 1482-2010 Bestimmung der Fließfähigkeit von Metallpulvern Hall-Durchflussmesser-Methode

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung der Fließfähigkeit von Metallpulvern mittels Hall-Durchflussmesser fest. Dieses Verfahren ist auf Metallpulver anwendbar, die frei durch einen Standardtrichter mit einem Lochdurchmesser von 2,5 mm fließen können. Die Zeit (Einheit: Sekunde), die 50 g Pulver benötigen, um durch den Standardtrichter zu fließen, wird gemessen, um die Fließfähigkeit des Pulvers zu charakterisieren. Dieses Verfahren kann zur Qualitätskontrolle, Produktionsabnahme und Fließfähigkeitsbewertung in der Forschung und Entwicklung der Pulvermetallurgie, der additiven Fertigung (z. B. 3D-Druck SLM, EBM-Verfahren) und verwandten Bereichen eingesetzt werden.

Diese Norm ist nicht anwendbar auf Pulver, die nicht rieselfähig sind (wie etwa ultrafeine Pulver mit einer Partikelgröße von $<10\ \mu\text{m}$ oder stark haftende Pulver).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Norm von wesentlicher Bedeutung. Bei datierten Dokumenten gilt ausschließlich die datierte Fassung für diese Norm. Bei undatierten Dokumenten gilt die jeweils neueste Fassung (einschließlich aller Änderungen) für diese Norm.

GB/T 5314-2011 Pulverprobenahmeverfahren für die Pulvermetallurgie

GB/T 1479.1-2010 Bestimmung der Schüttdichte von Metallpulvern Teil 1: Trichtermethode

GB/T 31057.3-2008 Physikalische Eigenschaften von körnigen Materialien Teil 3: Fließfähigkeitsindex

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 4490:2008 Bestimmung der Fließeigenschaften von Metallpulvern mit einem kalibrierten Trichter (Hall-Rheometer)

ASTM B213-17 Standardmethode zur Bestimmung der Durchflussrate von Metallpulvern mit einem Hall-Durchflussmesser-Trichter

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Fließfähigkeit

Die Fähigkeit von Metallpulver, unter bestimmten Bedingungen frei zu fließen, gekennzeichnet durch die Zeit (Sekunden), die 50 g Pulver benötigen, um durch einen Standardtrichter (Porengröße 2,5 mm) zu fließen, mit der Einheit s/50 g.

3.2 Hall-Durchflussmesser:

Ein Gerät zur Messung der Fließfähigkeit von Metallpulvern. Es besteht aus einem Standardtrichter, einem Auffangbehälter und einer Zeitmesseinrichtung.

3.3 Metallpulver

Durch Zerstäubung, Reduktion oder chemische Methoden hergestellte Metall- oder Legierungspartikel, die in der Pulvermetallurgie oder additiven Fertigung verwendet werden.

3.4 Freies Fließen:

Das Pulver kann ohne äußere Kraft (nur durch die Schwerkraft) kontinuierlich durch einen Standardtrichter fließen.

4 Grundsatz

Die Hall-Durchflussmessung charakterisiert die Fließfähigkeit eines Metallpulvers, indem sie die Zeit misst, die 50 g Pulver benötigen, um durch einen Standardtrichter mit einem Lochdurchmesser von 2,5 mm zu fließen. Die Fließfähigkeit wird durch die physikalischen Eigenschaften des Pulvers wie Partikelgröße, Form, Oberflächenbeschaffenheit, Haftung und Reibung beeinflusst. Je kürzer die Fließzeit, desto besser die Fließfähigkeit. Der Test muss unter kontrollierten Umgebungsbedingungen durchgeführt werden, um die Wiederholbarkeit und Genauigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten.

5. Instrumente und Ausrüstung

5.1 Hall-Durchflussmesser

Trichter: Aus nicht magnetischem, korrosionsbeständigem Metall (z. B. Edelstahl), mit polierter Innenwand und einer Rauheit $Ra \leq 0,4 \mu m$.

Geometrische Parameter des Trichters: oberer Durchmesser 60 mm, untere Öffnung $2,5 \pm 0,02$ mm, Kegelwinkel $60^\circ \pm 0,5^\circ$.

Höhe: 100 ± 2 mm vom unteren Loch bis zur Spitze.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2 Aufnahmebehälter

Volumen ≥ 100 mL, Durchmesser ≥ 39 mm, dient zur Aufnahme des austretenden Pulvers.

5.3 Analysenwaage

Messbereich ≥ 100 g, Genauigkeit $\pm 0,01$ g.

5.4 Stoppuhr

Genauigkeit $\pm 0,2$ s, wird zur Zeitmessung verwendet.

5.5 Ultraschallreiniger

Zum Reinigen von Trichtern und Behältern.

5.6 Trockenschrank

Temperaturregelbereich $105 \pm 2^\circ\text{C}$ zum Trocknen von Pulver.

6 Reagenzien

6.1 Ethanol

Analytische Qualität, Konzentration $\geq 99,5$ %, wird zur Reinigung verwendet.

6.2 Deionisiertes Wasser

Entspricht dem Wasserstandard ISO 3696, Klasse 1.

7 Exemplare

7.1 Probenanforderungen

Probenvolumen: mindestens 200 g, das frei durch einen Trichter mit 2,5 mm Poren fließen kann.

Partikelgröße: typischerweise 10–150 μm , abhängig vom Pulvertyp.

Gleichmäßigkeit: Abweichung der Partikelgrößenverteilung < 5 %, Agglomeration oder Schichtung vermeiden.

Menge: Jede Charge wird nach der Probenahme in 3 Portionen aufgeteilt, jede Portion muss ≥ 50 g sein.

7.2 Probenvorbereitung

Um die Repräsentativität sicherzustellen, wurden Proben aus der Pulvercharge gemäß GB/T 5314-2011 entnommen.

Legen Sie die Probe in einen Trockenofen ($105 \pm 2^\circ\text{C}$), trocknen Sie sie 30 Minuten lang und kühlen Sie sie dann auf Raumtemperatur ab.

Wenn sich Öl auf der Pulveroberfläche befindet, verwenden Sie eine 5-minütige Ultraschallreinigung mit Ethanol und verwenden Sie es nach dem Trocknen.

8 Prüfmethoden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.1 Prüfbedingungen

Umgebungstemperatur: $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

Relative Luftfeuchtigkeit: $50 \pm 5\%$, vermeiden Sie, dass das Pulver Feuchtigkeit aufnimmt.

Testbereich: Keine Störungen des Luftstroms, das Instrument wird auf einer horizontalen Fläche platziert.

8.2 Gerätekalibrierung

Überprüfen Sie die Trichteröffnung ($2,5 \pm 0,02\text{ mm}$), um sicherzustellen, dass keine Verstopfung oder Verformung vorliegt.

Das Instrument wurde mit Standardpulver (reines kugelförmiges Pulver mit bekannter Fließgeschwindigkeit, z. B. Ausflusszeit $30 \pm 1\text{ s/50 g}$) mit einer Abweichung von $< \pm 2\%$ kalibriert.

8.3 Prüfverfahren

Wiegen Sie $50 \pm 0,01\text{ g}$ der Probe und notieren Sie die Masse (m).

Verschließen Sie die Öffnung am Boden des Trichters vorübergehend mit Ihrem Finger oder einem Prallblech und gießen Sie die Probe in den Trichter, um sicherzustellen, dass das Pulver gleichmäßig verteilt wird.

Starten Sie die Stoppuhr und entfernen Sie gleichzeitig die Blende, damit das Pulver frei fließen kann.

Wenn das Pulver vollständig herausgeflossen ist (keine Rückstände im Trichter), stoppen Sie die Zeitmessung und notieren Sie die Ausflusszeit (t, Einheit: Sekunden).

Jede Probe wurde 3 mal gemessen und der Durchschnittswert mit einer Abweichung von $< \pm 2\text{ s}$ ermittelt.

Wenn das Pulver nicht herausfließen kann oder auf halbem Weg blockiert ist, notieren Sie es als „nicht fließen können“.

8.4 Datenverarbeitung

Die Fließfähigkeit wird als Ausflusszeit (s/50 g) mit einer Dezimalstelle angegeben (z. B. 32,5 s/50 g).

Wenn die Abweichung der drei Messungen $> 2\text{ s}$ war, wurden die Ausreißer eliminiert und der Test wiederholt.

9 Ergebnisausdruck

Die Fließfähigkeit wird als Ausflusszeit (s/50 g) mit einer Dezimalstelle angegeben.

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

a) Normnummer: GB/T 1482-2010; b) Probenbeschreibung: Pulvertyp, Charge, Partikelgrößenverteilung; c) Prüfbedingungen: Temperatur, Luftfeuchtigkeit; d) Gerätestatus: Trichteröffnung, Kalibrierung; e) Ergebnisse: Durchschnittliche Auslaufzeit und Abweichung; f) Prüfdatum: beispielsweise 21. Mai 2025; g) Prüfer: Unterschrift.

10 Präzision und Bias

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.1 Präzision

Wiederholbarkeit: Die vom gleichen Bediener und mit dem gleichen Gerät gemessene Abweichung der Ausflusszeit beträgt $\leq \pm 2$ s.

Reproduzierbarkeit: Die Abweichung der von verschiedenen Laboren gemessenen Auslaufzeit beträgt $\leq \pm 3$ s.

10.2 Verzerrung

Instrumentenfehler: Trichteröffnungsabweichung $\pm 0,02$ mm, Auftreffzeit $\leq \pm 1$ s.

Pulverförmiger Zustand: Feuchtigkeitsaufnahme oder Agglomeration verlängern die Auslaufzeit um 2–5 s.

Bedienfehler: Ungleichmäßiges Gießen oder Zeitabweichungen wirken sich $\leq \pm 1$ s aus.

11 Einflussfaktoren

11.1 Partikelgrößenverteilung

Eine Partikelgröße $< 45 \mu\text{m}$ erhöht die Haftung und verlängert die Auslaufzeit um 5–10 s; eine Partikelgröße $> 150 \mu\text{m}$ weist eine gute Fließfähigkeit auf und verkürzt die Zeit um 3–5 s.

11.2 Partikelform

Sphärische Pulver (wie sie beispielsweise durch AEM-Abscheidung mit einer Fließzeit von < 35 s/50 g hergestellt werden) fließen besser als unregelmäßig geformte (5–10 s länger).

11.3 Oberflächenbedingungen

Eine raue Oberfläche oder Satellitenbälle (anhaftende kleine Partikel) verlängern die Ausflusszeit um 3–8 Sekunden.

11.4 Umgebungsbedingungen

Bei einer Luftfeuchtigkeit von $> 60\%$ nimmt das Pulver Feuchtigkeit auf und die Auslaufzeit verlängert sich um 2–5 s.

11.5 Pulvereigenschaften

Hohe Haftung oder Reibung (wie etwa bei feinem Pulver oder oxidierten Oberflächen) führt zu schlechtem Fluss und kann zu keinem Fluss führen.

12 Anwendung der Prüfergebnisse

12.1 Qualitätskontrolle

Die Ausflusszeit von < 35 s/50 g erfüllt die Anforderungen des 3D-Druck-SLM-Prozesses.

12.2 Prozessoptimierung

Eine Ausflusszeit von > 40 s/50 g deutet auf eine schlechte Partikelform hin und erfordert eine Optimierung des Zerstäubungsprozesses.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

12.3 Leistungsvorhersage

Eine Auslaufzeit von <30 s/50 g entspricht einer guten, gleichmäßigen Pulververteilung und einer Druckfehlerrate von <1 %.

12.4 Beispiele

Titanlegierungspulver (Ti-6Al-4V), Fließzeit 32,5 s/50 g, wird zum Drucken von Flugzeugteilen verwendet, Oberflächenrauheit $R_a < 5$ μm .

13 Hinweise

13.1 Gerätekalibrierung

Die Trichteröffnung und die Stoppuhr wurden vor dem Test kalibriert, mit einer Abweichung von $<\pm 1$ %.

13.2 Probenqualität

Stellen Sie sicher, dass die Probe trocken und frei von Agglomeraten ist.

13.3 Umweltkontrolle

Die Temperatur im Testraum betrug $23 \pm 2^\circ\text{C}$ und die Luftfeuchtigkeit 50 ± 5 %.

13.4 Sicherheitsschutz

Vermeiden Sie Pulverumwälzungen während des Betriebs und tragen Sie eine Schutzmaske.

14 Anhang (Informativer Anhang)

Anhang A Typische Liquiditätsdaten

Tabelle A.1 Fließzeit gängiger Metallpulver

Pulvertyp	Partikelgröße (μm)	Partikelform	Fließzeit (s/50 g)
Titanlegierungspulver	15-45	sphärisch	30,0-35,0
Edelstahlpulver	20-63	sphärisch	28,0-33,0
Kupferpulver	45-100	irregulär	35,0-40,0

Anhang B Fehleranalyse

B.1 Gerätefehler

Eine Abweichung der Trichteröffnung von $\pm 0,02$ mm beeinflusst die Ausflusszeit um $<\pm 1$ s.

B.2 Pulverzustand

Durch Feuchtigkeitsaufnahme verlängert sich die Ausflusszeit um 2-5 s.

B.3 Umweltauswirkungen

Bei einer Luftfeuchtigkeit von >60 % verlängert sich die Auslaufzeit um 2-3 s.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

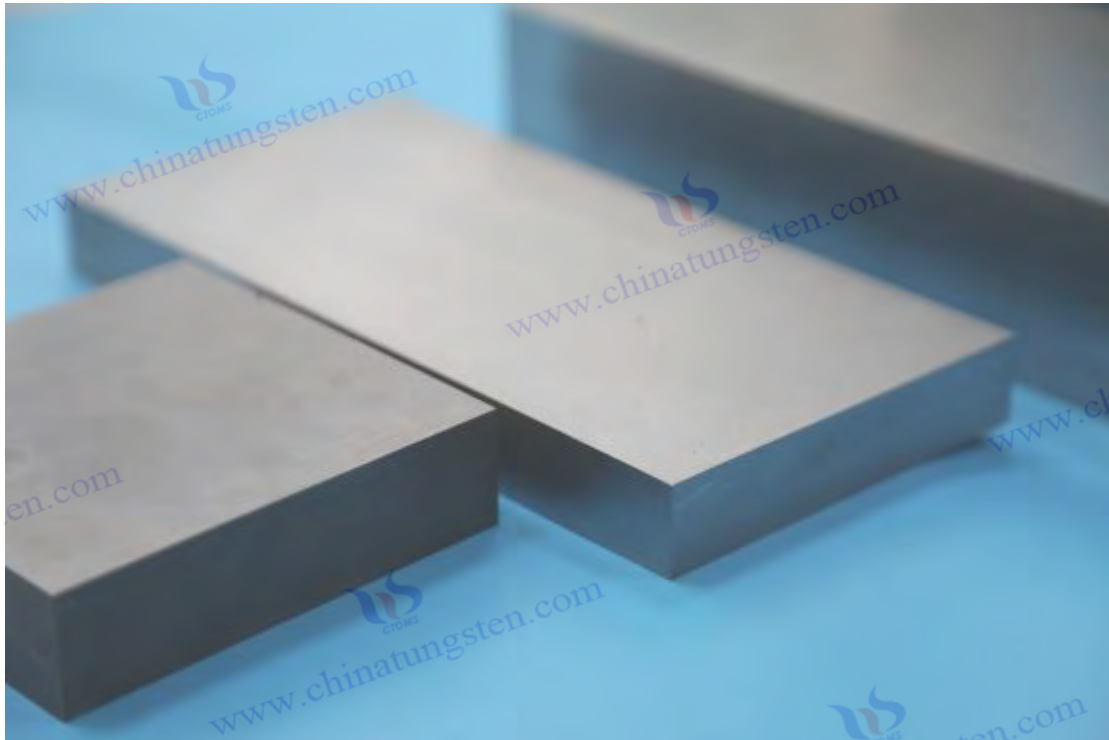
Anhang C Verbesserungsvorschläge

C.1 Verwenden Sie ein automatisches Zeitmesssystem, um manuelle Zeitmessfehler zu reduzieren.
C.2 Verwenden Sie einen Laser-Partikelgrößenanalysator, um die Partikelgrößenverteilung genau zu kontrollieren. C.3 Setzen Sie ein Vibrationsgerät ein, um die Fließfähigkeit stark haftender Pulver zu verbessern.

Anhang D Testdatenbeispiele

Tabelle D.1 Daten zum Test der Fließfähigkeit von Edelstahlpulver

Probenr.	Masse (g)	Fließzeit(en)	Durchschnittliche Ausflusszeit (s/50 g)
SS-001	50,02	32,8	32,5
SS-002	50,01	32,4	32,5
SS-003	50,00	32,3	32,5



GB/T 5243-2008 Methode zur Kennzeichnung der Eigenschaften von Hartmetallsorten

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt die Kennzeichnungsmethode für die Leistung von Hartmetallsorten fest. Sie gilt für Hartmetall (einschließlich der Sorten der Serien YG, YT und YW) mit Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase. Die Leistungsparameter, einschließlich chemischer Zusammensetzung, physikalischer und mechanischer Eigenschaften, werden durch eine einheitliche Kennzeichnungsmethode präzisiert. Diese Norm kann für die Materialauswahl, Qualitätskontrolle, Produktionsabnahme und das Leistungsmanagement von Sorten in Forschung und Entwicklung verwendet werden.

Diese Norm gilt nicht für Hartmetalle, die nicht auf Kobalt oder WC basieren.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Norm von wesentlicher Bedeutung. Bei datierten Dokumenten gilt ausschließlich die datierte Fassung für diese Norm. Bei undatierten Dokumenten gilt die jeweils neueste Fassung (einschließlich aller Änderungen) für diese Norm.

GB/T 18376-2014 Prüfverfahren für die Mikrostruktur von Hartmetall

GB/T 3850-2015 Verfahren zur Bestimmung der Dichte von Hartmetall

GB/T 5169-2013 Prüfverfahren für die Porosität von Hartmetall

GB/T 5242-2006 Klassifizierungs- und Anwendungshandbuch für Hartmetallsorten

ISO 4499-1 Verfahren zur Bestimmung der physikalischen Eigenschaften von Hartmetall Teil 1: Dichte

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 4499-2 Verfahren zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Hartmetall Teil 2:
Härte

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Hartmetall ist ein pulvermetallurgisch hergestellter Verbundwerkstoff aus Wolframcarbid (WC)

als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase.

3.2 Güteklasse

Der Identifikationscode von Hartmetall spiegelt seine chemische Zusammensetzung sowie seine physikalischen und mechanischen Eigenschaften wider und wird zur Unterscheidung von Materialien für verschiedene Zwecke verwendet.

3.3 Chemische Zusammensetzung

Der Massenanteil (Gew.-%) jedes Elements im Hartmetall, einschließlich WC, Co und zugesetzten Elementen (wie TiC, TaC).

3.4 Physikalische Eigenschaften:

Dichte, Porosität, Korngröße und andere Eigenschaften von Hartmetall.

3.5 Mechanische Eigenschaften:

Härte, Biegefestigkeit, Zähigkeit und andere Eigenschaften von Hartmetall.

4. Methode zur Kennzeichnung der Markenleistung

4.1 Regeln zur Markenbenennung

Hartmetallsorten werden durch eine Kombination aus Buchstaben und Zahlen dargestellt, wobei die folgenden Regeln befolgt werden:

Erster Buchstabe: Gibt die Anwendungskategorie an

YG: Hartmetall für allgemeine Zwecke (WC-Co-Legierung).

Hartmetall mit Titancarbid (TiC) und hoher Verschleißfestigkeit.

Hartmetall mit Tantalcarbid (TaC) oder Niobcarbid (NbC) mit hervorragender Gesamtleistung.

Zahl: Gibt den Kobaltgehalt (Co) (Gew.-%) an, z. B. bedeutet YG6, dass der Kobaltgehalt 6 % beträgt.

Suffix (optional): weist auf besondere Leistung oder Verwendung hin

K: Zum Schneiden (wie YG6K).

M: Für Schlagfestigkeit (wie YG8M).

F: Feine Körner (wie YG6F).

4.2 Leistungsparameterkennzeichnung

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

Die Leistung der Marke muss die folgenden Parameter umfassen, die in einem festen Format gekennzeichnet sind:

Chemische Zusammensetzung: WC-Gehalt, Co-Gehalt, Gehalt an zugesetzten Elementen (Gew.-%).

Physikalische Eigenschaften: Dichte (g/cm^3), Porosität (%), Korngröße (μm).

Mechanische Eigenschaften: Härte (HRA), Biegefestigkeit (MPa), Bruchzähigkeit ($\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).

4.3 Anmerkungsformat

Die Leistungskennzeichnung erfolgt tabellarisch, beispielsweise:

Marke: YG6

Chemische Zusammensetzung: WC 94 %, Co 6 %

Physikalische Eigenschaften: Dichte $14,9 \text{ g/cm}^3$, Porosität $<0,05 \%$, Korngröße $0,8-1,0 \mu\text{m}$

Mechanische Eigenschaften: Härte 91,5 HRA, Biegefestigkeit 2200 MPa, Bruchzähigkeit $10,5 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$

5 Prüfmethoden

5.1 Bestimmung der chemischen Zusammensetzung

Nach der Probenahme gemäß GB/T 5314-2011 wurden die Gehalte an WC, Co und Zusatzelementen durch chemische Analyse mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1 \text{ Gew.-%}$ bestimmt.

5.2 Bestimmung der physikalischen Eigenschaften

Dichte: Gemäß GB/T 3850-2015, Genauigkeit $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Porosität: Gemäß GB/T 5169-2013, metallografische Methode oder Bildanalysemethode, Genauigkeit $\pm 0,01 \%$.

Korngröße: Gemäß GB/T 18376-2014, gemessen mit metallografischem Mikroskop, Genauigkeit $\pm 0,1 \mu\text{m}$.

5.3 Bestimmung mechanischer Eigenschaften

Härte: Nach ISO 4499-2, Vickershärte (HV) bzw. Rockwellhärte (HRA), Genauigkeit $\pm 0,5 \text{ HRA}$.

Biegefestigkeit: Nach ISO 3327, Dreipunktbiegeverfahren, Genauigkeit $\pm 50 \text{ MPa}$.

Bruchzähigkeit: Nach der Single Edge Notched Beam-Methode (SENB), Genauigkeit $\pm 0,5 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$.

6 Ergebnisausdruck

Die Leistungen der Jahrgangsstufen werden tabellarisch aufgeführt, wobei die Parameterwerte auf die angegebenen Nachkommastellen genau festgehalten werden:

Chemische Zusammensetzung: 1 Dezimalstelle beachten (z. B. 94,0 %).

Dichte: 2 Nachkommastellen beachten (z. B. $14,90 \text{ g/cm}^3$).

Porosität: 2 Dezimalstellen einhalten (z. B. 0,05 %).

Korngröße: Geben Sie eine Dezimalstelle genau an (z. B. $1,0 \mu\text{m}$).

Härte: Behalten Sie eine Dezimalstelle (z. B. 91,5 HRA).

Biegefestigkeit: Ganzzahlige Werte beibehalten (z. B. 2200 MPa).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bruchzähigkeit: Eine Dezimalstelle beachten (zB 10,5 MPa·m^{1/2}).

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

- a) Standardnummer: GB/T 5243-2008; b) Marke: z. B. YG6; c) Probenbeschreibung: Charge, Größe;
- d) Prüfmethode: chemische Zusammensetzung, physikalische Eigenschaften, mechanische Eigenschaften; e) Ergebnisse: Tabelle mit Leistungsparametern; f) Prüfdatum: z. B. 21. Mai 2025;
- g) Unterschrift des Prüfers.

7 Präzision und Bias

7.1 Präzision

Chemische Zusammensetzung: Wiederholabweichung $\leq \pm 0,1$ Gew.-%.

Physikalische Eigenschaften: Dichteabweichung $\leq \pm 0,01$ g/cm³, Porositätsabweichung $\leq \pm 0,02$ %.

Mechanische Eigenschaften: Härteabweichung $\leq \pm 0,5$ HRA, Biegefestigkeitsabweichung $\leq \pm 50$ MPa.

7.2 Verzerrung

Instrumentenfehler: Waagenfehler $\pm 0,0001$ g, Mikroskopfehler $\pm 0,1$ µm.

Inhomogenität der Probe: Eine Abweichung der Zusammensetzung $> 0,1$ Gew.-% führt zu Schwankungen der Biegefestigkeit von ± 100 MPa.

Umwelteinfluss: Bei einer Luftfeuchtigkeit von > 70 % wird die Porosität um 0,01–0,03 % überschätzt.

8 Einflussfaktoren

8.1 Zusammensetzungsschwankungen

Ein Kobaltgehalt von $\pm 0,5$ % bewirkt eine Härteänderung von ± 1 HRA und eine Änderung der Biegefestigkeit von ± 200 MPa.

8.2 Korngröße

Eine Korngröße $< 0,5$ µm erhöht die Härte (> 92 HRA) und verringert die Zähigkeit (< 9 MPa·m^{1/2}); eine Korngröße > 2 µm verringert die Härte (< 90 HRA) und erhöht die Zähigkeit (> 12 MPa·m^{1/2}).

8.3 Sinterprozess

Temperaturen > 1450 °C erhöhen die Porosität ($> 0,1$ %) und reduzieren die Biegefestigkeit um 100–300 MPa.

8.4 Elemente hinzufügen

TiC > 5 % erhöht die Härte ($+1$ HRA) und verringert die Zähigkeit (-1 MPa·m^{1/2}).

9 Anwendung der Notenleistung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9.1 Materialauswahl

YG6 (Härte 91,5 HRA, Biegefestigkeit 2200 MPa) eignet sich für Schneidwerkzeuge.

9.2 Prozessoptimierung

Eine Biegefestigkeit <2000 MPa deutet darauf hin, dass die Sintertemperatur nicht ausreicht und auf 1400–1450 °C eingestellt werden sollte.

9.3 Leistungsvorhersage

Härte >91 HRA, Zähigkeit >10 MPa·m^{1/2} entspricht einer Schnittlebensdauer >5 Stunden.

9.4 Beispiele

YG8 (Biegefestigkeit 2400 MPa, Zähigkeit 11,0 MPa·m^{1/2}), wird für Schlagbohrer verwendet, Lebensdauer >3000 Schläge.

10. Hinweise

10.1 Gerätekalibrierung

Die Waage und das Mikroskop wurden vor dem Test kalibriert, mit einer Abweichung von <±1 %.

10.2 Probenqualität

Stellen Sie sicher, dass die Probe keine Risse aufweist und eine gleichmäßige Zusammensetzung hat.

10.3 Umweltkontrolle

Die Temperatur im Testraum betrug 20–25 °C und die Luftfeuchtigkeit lag bei <60 %.

10.4 Sicherheitsschutz

Tragen Sie während des Betriebs eine Schutzbrille, um herumfliegende Pulverpartikel zu vermeiden.

11 Anhang (Informativer Anhang)

Anhang A Eigenschaften gängiger Hartmetallsorten

Tabelle A.1 Typische Sorteneigenschaften

Marke	WC (Gew.-%)	Co (Gew.-%)	Dichte (g/cm ³)	Porosität(%)	Korngröße (μm)	Härte (HRA)	Biegefestigkeit (MPa)	Bruchzähigkeit (MPa·m ^{1/2})
YG6	94,0	6,0	14,90	0,04	0,8-1,0	91,5	2200	10,5
YG8	92,0	8,0	14,70	0,05	1,0-1,2	90,5	2400	11,0
YT15	79,0	6,0	12,50	0,03	0,6-0,8	92,0	1800	9,0

Anhang B Fehleranalyse

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

B.1 Gerätefehler

Waagenfehler $\pm 0,0001$ g bewirkt Dichte $< 0,01$ g/cm³.

B.2 Stichprobenabweichung

Durch die ungleichmäßige Zusammensetzung schwankt die Biegefestigkeit um ± 100 MPa.

B.3 Umweltauswirkungen

Bei einer Luftfeuchtigkeit von > 70 % wird die Porosität um $0,01$ – $0,03$ % überschätzt.

Anhang C Verbesserungsvorschläge

C.1 Die Zusammensetzung wird mittels Röntgenfluoreszenz (XRF) mit einer Genauigkeit von $< \pm 0,05$ Gew.-% analysiert.

C.2 Die Korngröße wird mittels Rasterelektronenmikroskop (REM) mit einer Genauigkeit von $< \pm 0,05$ μ m gemessen. C.3 Zur Verbesserung der Messkonsistenz wird ein automatisiertes Prüfsystem eingesetzt.

Anhang D Testdatenbeispiele

Tabelle D.1 Leistungstestdaten der Klasse YG6

Parameter	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Durchschnittswert
Dichte (g/cm ³)	14,91	14,89	14,90	14,90
Härte (HRA)	91,4	91,6	91,5	91,5
Biegefestigkeit (MPa)	2180	2220	2200	2200

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 34505-2017

Additive Fertigung Metallpulver Spezifikationen der Zubereitungsmethode

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt die Spezifikationen für die Herstellungsverfahren von Metallpulvern für die additive Fertigung fest, einschließlich Rohstoffauswahl, Herstellungsprozess, Qualitätskontrolle und Leistungsanforderungen. Dieses Verfahren ist auf Metallpulver (wie Titanlegierungen, Aluminiumlegierungen, Edelstahl usw.) anwendbar, die in der additiven Fertigung (wie selektivem Laserschmelzen (SLM) oder Elektronenstrahlschmelzen (EBM) usw.) verwendet werden, um sicherzustellen, dass Partikelgrößenverteilung, Morphologie, Fluidität und chemische Zusammensetzung des Pulvers den Anforderungen des additiven Fertigungsprozesses entsprechen. Diese Norm dient zur Orientierung im Pulverherstellungsprozess, der Produktionsabnahme und der Leistungsüberprüfung.

Diese Norm gilt nicht für nichtmetallische Pulver oder Metallpulver, die nicht für die additive Fertigung bestimmt sind.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Norm von wesentlicher Bedeutung. Bei datierten Dokumenten gilt ausschließlich die datierte Fassung für diese Norm. Bei undatierten Dokumenten gilt die jeweils neueste Fassung (einschließlich aller Änderungen) für diese Norm.

GB/T 1482-2010 Bestimmung der Fließfähigkeit von Metallpulvern - Hall-Rheometer-Methode

GB/T 5314-2011 Pulverprobenahmeverfahren für die Pulvermetallurgie

GB/T 13305 Chemische Analysemethoden für Stahl und Ferrolegierungen

GB/T 19077.1-2008 Messung der Partikelgrößenverteilung mittels Laserbeugungsmethode Teil 1: Allgemeines

ISO 13320-1:2009 Partikelgrößenanalyse mittels Laserbeugung

ASTM B214-16 Bestimmung der Schüttdichte von Metallpulvern

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Additive Fertigung (AM)

ist eine Technologie zur Herstellung von Objekten durch schichtweises Auftragen von Materialien, einschließlich SLM, EBM usw.

3.2 Metallpulver

Metall- oder Legierungspartikel, die durch ein spezielles Verfahren hergestellt und als Rohstoffe für die additive Fertigung verwendet werden.

3.3 Herstellungsverfahren: Der Prozess

der Verarbeitung metallischer Rohstoffe zu Pulvern, die den Anforderungen der additiven Fertigung

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

entsprechen, einschließlich Zerstäubungsverfahren, mechanischem Zerkleinerungsverfahren usw.

3.4 Partikelgrößenverteilung

Die statistische Verteilung der Pulverpartikelgröße, üblicherweise ausgedrückt als D10, D50 oder D90.

3.5 Sphärizität:

Der Grad, in dem Pulverpartikel einer Kugelform nahe kommen, was sich auf die Gleichmäßigkeit und Fließfähigkeit der Pulververteilung auswirkt.

4 Zubereitungsart

4.1 Rohstoffauswahl

Materialtyp: Verwenden Sie hochreine Metalle oder Legierungen (wie Ti-6Al-4V, Edelstahl 316L) mit einem Verunreinigungsgehalt $\leq 0,1$ Gew.-%.

Ausgangsform: Metallstab, Draht oder Metallschwamm (z. B. Titanschwamm).

Reinheitsanforderungen: Sauerstoffgehalt $\leq 0,2$ Gew.-%, Stickstoffgehalt $\leq 0,05$ Gew.-%.

4.2 Vorbereitungsprozess

4.2.1 Gaszerstäubung

Prinzip: Das geschmolzene Metall wird durch Hochdruckgas (z. B. Stickstoff oder Argon) in feine Tröpfchen gesprüht und zu kugelförmigem Pulver abgekühlt.

Prozessparameter:

Schmelztemperatur: 1500-1800°C (je nach Material).

Gasdruck: 2-5 MPa.

Abkühlrate: $10^3 - 10^5$ K/s.

Anwendbare Materialien: Titanlegierung, Nickelbasislegierung.

Ausgabeigenschaften: Partikelgröße 10–150 μm , Sphärizität $> 0,9$.

4.2.2 Plasma-Rotationselektrodenverfahren (PREP)

Prinzip: Nachdem die rotierende Elektrode geschmolzen ist, bildet sie durch die Zentrifugalkraft Tröpfchen und kühlt zu Pulver ab.

Prozessparameter:

Elektrodenrotationsgeschwindigkeit: 10.000–20.000 U/min.

Leistung: 50-100 kW.

Kühlmedium: Argon oder Helium.

Anwendbare Materialien: Metalle mit hohem Schmelzpunkt (wie Wolfram und Molybdän).

Ausgabeigenschaften: Partikelgröße 20–200 μm , Sphärizität $> 0,95$, Sauerstoffgehalt $< 0,1$ Gew.-%.

4.2.3 Mechanisches Legieren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Prinzip: Metallpulver werden durch Hochenergie-Kugelmahlen gemischt und verfeinert.

Prozessparameter:

Kugelmahlzeit: 10–50 Stunden.

Kugel-Material-Verhältnis: 10:1 bis 20:1.

Rotationsgeschwindigkeit: 300-500 U/min.

Anwendbare Materialien: Verbundwerkstoffe auf Aluminiumbasis.

Ausgabeesigenschaften: Partikelgröße 1–50 µm, unregelmäßige Morphologie.

4.2.4 Lösungs-Fällungs-Verfahren

Prinzip: Das Metall wird gelöst und anschließend unter kontrollierten Bedingungen zu Pulver abgeschieden.

Prozessparameter:

Lösetemperatur: 150-200°C.

Druck: 0,5–1,0 MPa.

Feststoff-Flüssigkeits-Verhältnis: 0,05–0,1 g/ml.

Anwendbare Materialien: Polypropylenbeschichtetes Metallpulver.

Ausgabeesigenschaften: Partikelgröße 20–50 µm, Sphärizität einstellbar.

4.3 Nachbearbeitung

Siebung: Verwenden Sie ein Vibrationssieb oder eine Luftstromklassifizierung, um den Partikelgrößenbereich (z. B. 15–45 µm) zu kontrollieren.

Trocknen: 1 Stunde bei 105 ± 2 °C trocknen, um Feuchtigkeit zu entfernen.

Oberflächenbehandlung: Mit Inertgas (z. B. Argon) schützen, um die Oxidation zu verringern.

5. Qualitätskontrolle

5.1 Chemische Zusammensetzung

Bestimmt gemäß GB/T 13305, Sauerstoffgehalt $\leq 0,2$ Gew.-%, Stickstoffgehalt $\leq 0,05$ Gew.-%, Gesamtverunreinigungsgehalt $\leq 0,3$ Gew.-%.

5.2 Partikelgrößenverteilung

Bestimmt gemäß GB/T 19077.1-2008, $D_{10} \geq 10$ µm, $D_{50} = 20-50$ µm, $D_{90} \leq 100$ µm.

5.3 Morphologie und Sphärizität

Die Beobachtung mit einem Rasterelektronenmikroskop (REM) zeigte, dass die Sphärizität $\geq 0,9$ betrug.

5.4 Liquidität

Gemessen gemäß GB/T 1482-2010 beträgt die Ausflusszeit ≤ 35 s/50 g.

5.5 Schüttdichte

cm³ (je nach Material), gemessen nach ASTM B214-16.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Ergebnisdarstellung

Die Eigenschaften der hergestellten Pulver sind tabellarisch aufgeführt:

Chemische Zusammensetzung: Gehalt jedes Elements (Gew.-%).

Partikelgrößenverteilung: D10, D50, D90 (μm).

Morphologie: Sphärizität und SEM-Bildbeschreibung.

Fließfähigkeit: Fließzeit (s/50 g).

Schüttdichte: g/cm^3 .

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

- a) Standardnummer: GB/T 34505-2017; b) Pulvertyp: Materialmarke, Charge; c) Herstellungsmethode: Prozessparameter; d) Prüfergebnisse: Tabelle mit Leistungsparametern; e) Prüfdatum: beispielsweise 21. Mai 2025; f) Unterschrift des Prüfers.

7 Präzision und Bias

7.1 Präzision

Partikelgrößenverteilung: Wiederholabweichung $< \pm 5 \mu\text{m}$.

Fließfähigkeit: Wiederholabweichung $< \pm 2 \text{ s}$.

Chemische Zusammensetzung: Wiederholabweichung $< \pm 0,1 \text{ Gew.-%}$.

7.2 Verzerrung

Gerätefehler: Die Abweichung des Partikelgrößenanalysators beträgt $\pm 2 \mu\text{m}$, was zu einer Partikelgröße von $< \pm 5 \%$ führt.

Prozessabweichung: Eine Gasdruckschwankung von $\pm 0,5 \text{ MPa}$ bewirkt eine Änderung der Partikelgrößenverteilung um $\pm 10 \mu\text{m}$.

Umwelteinflüsse: Luftfeuchtigkeit $> 60\%$ reduziert die Fließfähigkeit um 2-5 s.

8 Einflussfaktoren

8.1 Reinheit der Rohstoffe

Ein Sauerstoffgehalt von $> 0,2 \text{ Gew.-%}$ erhöht die Oxidation der Pulveroberfläche und die Fließfähigkeit nimmt um 5–10 Sekunden ab.

8.2 Prozessparameter

Bei Abkühlraten $< 10^3 \text{ K/s}$ entstanden unregelmäßige Partikel mit einer Sphärizität $< 0,8$.

Eine Elektrodengeschwindigkeit von $< 10.000 \text{ U/min}$ führt zu einer größeren Partikelgröße ($> 200 \mu\text{m}$).

8.3 Nachbearbeitung

Durch ungleichmäßiges Sieben kommt es zu einer Abweichung der Partikelgrößenverteilung von $> 10 \%$.

Durch unzureichende Trocknung verringert sich die Schüttdichte um $0,1-0,2 \text{ g}/\text{cm}^3$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

9 Anwendung der Präparationsergebnisse

9.1 Additive Fertigungsverfahren

Partikelgröße 15–45 µm, Fließfähigkeit <35 s/50 g, geeignet für SLM-Druck.

9.2 Leistungsoptimierung

Sphärizität > 0,9, Sauerstoffgehalt < 0,1 Gew.-%. Verbessern Sie die Zugfestigkeit gedruckter Teile (> 800 MPa).

9.3 Beispiele

Ti-6Al-4V-Pulver (D50 = 35 µm , Fließfähigkeit 32 s/50 g) wird für Flugturbinenschaufeln mit einer Oberflächenrauheit von Ra <10 µm verwendet.

10. Hinweise

10.1 Gerätekalibrierung

Der Partikelgrößenanalysator und der Hall-Durchflussmesser wurden vor dem Test kalibriert, mit einer Abweichung von <±1 %.

10.2 Prozesskontrolle

Stellen Sie eine Gasreinheit von >99,99 % sicher, um eine Kontamination zu vermeiden.

10.3 Umweltkontrolle

Die Temperatur im Testraum betrug 23±2°C und die Luftfeuchtigkeit 50±5%.

10.4 Sicherheitsschutz

Tragen Sie während des Betriebs eine Schutzbrille, um herumfliegende Metallpulver zu vermeiden.

11 Anhang (Informativer Anhang)

Anhang A Typische Parameter zur Metallpulverherstellung

Tabelle A.1 Prozessparameter verschiedener Herstellungsverfahren

Verfahren	Material	Temperatur (°C)	Druck (MPa)	Partikelgröße (µm)	Sphärizität	Sauerstoffgehalt (Gew.-%)
Gaszerstäubung	Ti-6Al-4V	1700	3.0	20-50	>0,9	<0,15
PREP-Methode	Wolframlegierung	1800	4.0	30-100	>0,95	<0,10
Mechanisches	Verbundwerkstoff	Raumtemperatur	-	1-50	<0,7	<0,20

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

Verfahren	Material	Temperatur (°C)	Druck (MPa)	Partikelgröße (µm)	Sphärität	Sauerstoffgehalt (Gew.-%)
Legieren	fe auf ur Aluminiumbasis					

Anhang B Fehleranalyse

B.1 Gerätefehler

Der Partikelgrößenanalysator weist eine Abweichung von $\pm 2 \mu\text{m}$ auf, was zu einer Abweichung von $< \pm 5 \%$ der Partikelgröße führt.

B.2 Prozessabweichung

Eine Gasdruckschwankung von $\pm 0,5 \text{ MPa}$ führt zu einer Variation der Partikelgrößenverteilung von $\pm 10 \mu\text{m}$.

B.3 Umweltauswirkungen

Bei einer Luftfeuchtigkeit von $> 60 \%$ verringert sich die Fließfähigkeit für 2–5 s.

Anhang C Verbesserungsvorschläge

C.1 Durch Laserpartikelgrößenanalyse wurde die Genauigkeit auf $\pm 1 \mu\text{m}$ verbessert.

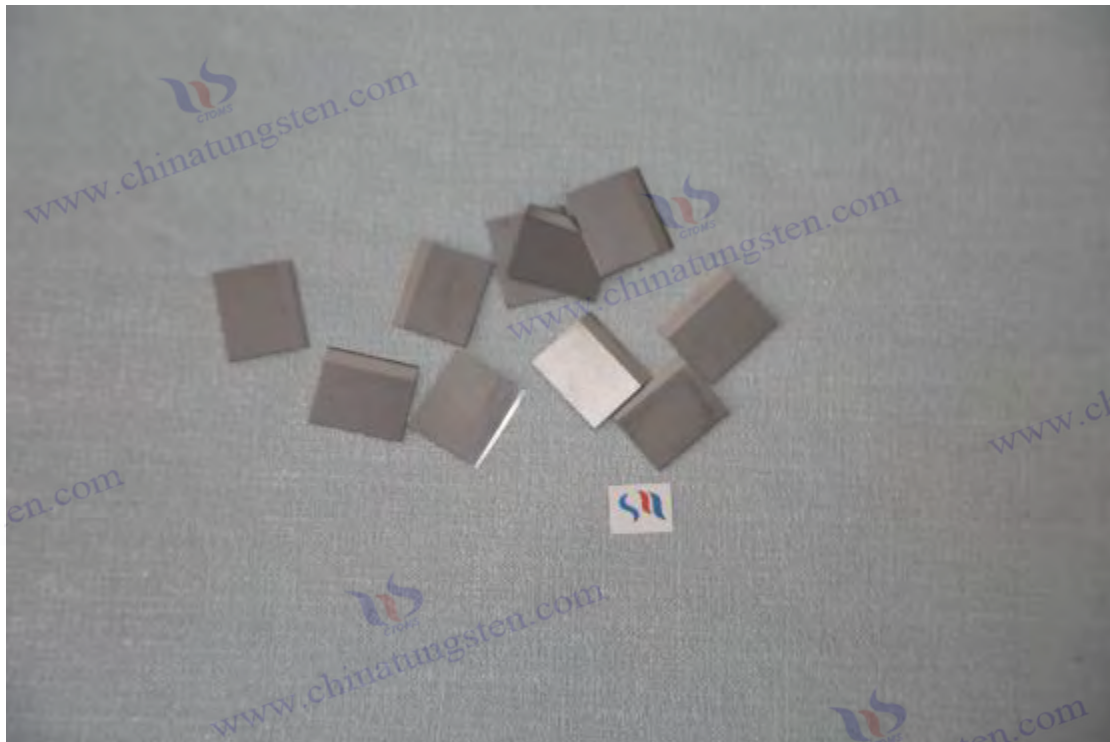
C.2 Eine Vakuumumgebung wurde verwendet, um den Sauerstoffgehalt auf $< 0,05 \text{ Gew.-%}$ zu senken. C.3 Zur Optimierung der Prozessparameter wurde ein Online-Überwachungssystem eingeführt.

Anhang D Testdatenbeispiele

Tabelle D.1 Testdaten zur Herstellung von Ti-6Al-4V-Pulver

Parameter	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Durchschnittswert
D50 (µm)	34,5	35,0	34,8	34,8
Fließfähigkeit (s/50 g)	32,2	32,0	32,3	32,2
Sauerstoffgehalt (Gew.-%)	0,12	0,13	0,11	0,12

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



GB/T 26048-2010 Spezifikation für den Sinterprozess von Hartmetall

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt die Spezifikationen für den Sinterprozess von Hartmetall fest, einschließlich Rohstoffaufbereitung, Sinterprozessparametern, Geräteanforderungen, Qualitätskontrolle und Leistungsprüfverfahren. Dieses Verfahren ist anwendbar auf den Sinterprozess von Hartmetall (z. B. der Sorten YG, YT, YW) mit Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase, hauptsächlich zur Herstellung von Schneidwerkzeugen, Formen und verschleißfesten Teilen. Diese Norm dient zur Orientierung im Sinterprozess, zur Produktionsabnahme und zur Leistungsüberprüfung.

Diese Norm gilt nicht für das Sintern von Hartmetallen, die nicht auf Kobalt oder WC basieren.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Norm von wesentlicher Bedeutung. Bei datierten Dokumenten gilt ausschließlich die datierte Fassung für diese Norm. Bei undatierten Dokumenten gilt die jeweils neueste Fassung (einschließlich aller Änderungen) für diese Norm.

GB/T 18376-2014 Prüfverfahren für die Mikrostruktur von Hartmetall

GB/T 3850-2015 Verfahren zur Bestimmung der Dichte von Hartmetall

GB/T 5169-2013 Prüfverfahren für die Porosität von Hartmetall

GB/T 5243-2008 Methode zur Kennzeichnung der Eigenschaften von Hartmetallsorten

ISO 3327 Verfahren zur Bestimmung der Biegefestigkeit von Hartmetall

ISO 4499-2 Verfahren zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften von Hartmetall Teil 2: Härte

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

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Hartmetall ist ein pulvermetallurgisch hergestellter Verbundwerkstoff aus Wolframcarbid (WC)

als Hartphase und Kobalt (Co) als Bindephase.

3.2 Sintern ist

der Prozess, bei dem Pulverpartikel durch Erhitzen, normalerweise auf eine Temperatur unterhalb des Schmelzpunkts der Hauptkomponenten, zu einem dichten Feststoff verbunden werden.

3.3 Flüssigphasensintern

Während des Sinterprozesses schmilzt die Bindephase (z. B. Kobalt) und bildet eine flüssige Phase, die die Neuordnung und Verdichtung der Partikel fördert.

3.4 Festkörpersintern:

Während des Sinterprozesses bildet sich keine flüssige Phase, und die Partikelbindung wird nur durch Festkörperdiffusion erreicht.

3.5 Mikrostruktur

Die organisatorischen Eigenschaften von Hartmetall nach dem Sintern, einschließlich Korngröße, Porosität und Phasenverteilung.

4 Sinterprozess

4.1 Rohstoffaufbereitung

Pulverauswahl: Verwenden Sie hochreine WC- und Co-Pulver, WC-Reinheit $\geq 99,8\%$, Co-Reinheit $\geq 99,9\%$, Verunreinigungsgehalt $\leq 0,1$ Gew.-%.

Partikelgröße: WC-Korngröße 0,5–2,0 μm , Co-Pulver-Korngröße 1–3 μm .

Mischen: Zum Mischen wird eine trockene oder nasse Kugelmühle verwendet, mit einem Kugel-Material-Verhältnis von 5:1 bis 10:1 für 24–48 Stunden, um die Gleichmäßigkeit zu gewährleisten (Abweichung $< \pm 0,5$ Gew.-%).

Pressen: Pressen Sie das gemischte Material bei einem Druck von 100–300 MPa und einer Grünkörperdichte von 50–60 % der theoretischen Dichte zu einem Grünkörper.

4.2 Sinterprozess

4.2.1 Einstufiges Sintern (Vakuumsintern)

Ausstattung: Vakuum-Sinterofen, Maximaltemperatur 1550°C, Vakuumgrad $\leq 10^{-2}$ Pa .

Prozessparameter:

Heizrate: 5–10 °C/min auf 600 °C (Additiventfernung), 1 Stunde halten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Erhöhen Sie die Temperatur weiter auf 1400–1450 °C (Flüssigphasen-Sintertemperatur) und halten Sie diese Temperatur 1–2 Stunden lang.

Abkühlrate: 5–10 °C/min auf 1000 °C, dann natürlich auf Raumtemperatur abkühlen.

Atmosphäre: Vakuum oder Niederdruck-Argon (<0,1 MPa).

Anwendbare Sorten: YG6, YG8, geeignet für Schneidwerkzeuge.

4.2.2 Zweistufiges Sintern (Festphasen- + Flüssigphasensintern)

Ausrüstung: Sinterofen mit Wasserstoffatmosphäre, Vakuumsinterofen.

Prozessparameter:

Festphasensintern: 1 Stunde lang bei 1300–1350 °C (unter dem Schmelzpunkt von Kobalt) in einer Wasserstoffatmosphäre halten, um die anfängliche Bindung der Partikel zu fördern.

Flüssigphasensintern: Erhöhen Sie die Temperatur auf 1450–1480 °C und halten Sie diese Temperatur 30–60 Minuten lang in einer Vakuum- oder Argonatmosphäre, um eine vollständige Verdichtung zu erreichen.

Abkühlung: 5–10 °C/min auf 1000 °C, dann natürliche Abkühlung.

Anwendbare Sorten: YT15, YW1, geeignet für Materialien, die feine Körnungen erfordern.

4.2.3 Heißisostatisches Pressen (HIP-Sintern)

Ausrüstung: Heißisostatischer Pressofen, maximaler Druck 100 MPa, maximale Temperatur 1500 °C.

Prozessparameter:

Sintertemperatur: 1400–1450°C.

Druck: 50–100 MPa.

Warmhaltezeit: 1–2 Stunden.

Abkühlung: Im Ofen auf Raumtemperatur abkühlen lassen.

Anwendbare Güten: Hochleistungsgüten (wie YG6F) werden für Teile verwendet, die eine geringe Porosität erfordern.

4.3 Nachbehandlung nach dem Sintern

Abkühlung: Kontrollieren Sie die Abkühlungsrate, um durch thermische Spannung verursachte Risse zu vermeiden.

Oberflächenreinigung: Entfernen Sie die Oxidschicht oder Rückstände auf der Oberfläche und reinigen Sie sie mit Ethanol.

Größenanpassung: Die Größenkalibrierung erfolgt basierend auf der Schrumpfung (15 % – 20 %).

5. Qualitätskontrolle

5.1 Chemische Zusammensetzung

Die Abweichung des WC- und Co-Gehalts beträgt gemäß GB/T 5243-2008 $\leq \pm 0,5$ Gew.-% und der Verunreinigungsgehalt $\leq 0,1$ Gew.-%.

5.2 Mikrostruktur

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Korngröße: gemessen gemäß GB/T 18376-2014, WC-Korngröße 0,8–1,5 μm .

Porosität: Gemessen gemäß GB/T 5169-2013, Porosität $\leq 0,05\%$.

Phasenverteilung: Die Kobaltphase ist gleichmäßig verteilt, ohne offensichtliche Entmischung.

5.3 Physikalische Eigenschaften

Dichte: Bestimmt gemäß GB/T 3850-2015, relative Dichte $\geq 99\%$.

Schrumpfung: Lineare Schrumpfung $15\% - 20\%$, Abweichung $< \pm 1\%$.

5.4 Mechanische Eigenschaften

Härte: gemessen nach ISO 4499-2, HRA ≥ 90 .

Biegefestigkeit: gemessen nach ISO 3327, $\geq 2000\text{ MPa}$.

6 Ergebnisausdruck

Die Eigenschaften nach dem Sintern sind tabellarisch aufgeführt:

Chemische Zusammensetzung: WC, Co-Gehalt (Gew.-%).

Mikrostruktur: Korngröße (μm), Porosität (%).

Physikalische Eigenschaften: Dichte (g/cm^3), Schrumpfung (%).

Mechanische Eigenschaften: Härte (HRA), Biegefestigkeit (MPa).

Der Testbericht sollte Folgendes enthalten:

- a) Standardnummer: GB/T 26048-2010; b) Marke: z. B. YG6; c) Sinterverfahren: einstufig, zweistufig oder HIP; d) Prozessparameter: Temperatur, Zeit, Atmosphäre; e) Testergebnisse: Tabelle mit Leistungsparametern; f) Testdatum: z. B. 21. Mai 2025; g) Unterschrift des Prüfers.

7 Präzision und Bias

7.1 Präzision

Korngröße: Wiederholabweichung $< \pm 0,1\ \mu\text{m}$.

Porosität: Wiederholabweichung $< \pm 0,02\%$.

Härte: Wiederholabweichung $< \pm 0,5\text{ HRA}$.

Biegefestigkeit: Wiederholabweichung $< \pm 50\text{ MPa}$.

7.2 Verzerrung

Instrumentenfehler: Mikroskopfehler $\pm 0,1\ \mu\text{m}$, beeinflusst Korngröße $< \pm 5\%$.

Prozessabweichung: Eine Temperaturschwankung von $\pm 10\ ^\circ\text{C}$ führt zu einer Porositätsabweichung von $\pm 0,03\%$.

Umwelteinfluss: Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre $> 0,01\%$ erhöht die Porosität um $0,01-0,02\%$.

8 Einflussfaktoren

8.1 Temperatur

Temperaturen $< 1400\ ^\circ\text{C}$ führen zu unzureichender Verdichtung und Porosität $> 0,1\%$, Temperaturen $> 1480\ ^\circ\text{C}$ verursachen abnormales Kornwachstum ($> 2\ \mu\text{m}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8.2 Haltezeit

Bei einer Haltezeit von <30 Minuten ist die Verdichtung unvollständig und die relative Dichte liegt bei <98 %. Bei einer Haltezeit von >2 Stunden wachsen die Körner und die Härte nimmt um 0,5–1 HRA ab.

8.3 Atmosphäre

Ein Sauerstoffgehalt > 0,01 % führt zu einer Oberflächenoxidation und einer Erhöhung der Porosität um 0,02 – 0,05 %.

8.4 Pulvereigenschaften

Eine Korngröße <0,5 µm erhöht die Härte (>92 HRA), verringert jedoch die Biegefestigkeit (<1800 MPa).

9 Anwendung der Sinterergebnisse

9.1 Schneidwerkzeuge

YG6 (Härte 91,5 HRA, Biegefestigkeit 2200 MPa), wird für Drehwerkzeuge verwendet, Lebensdauer > 5 Stunden.

9.2 Prozessoptimierung

Eine Porosität > 0,05 % deutet darauf hin, dass die Sintertemperatur nicht ausreicht und auf 1450 °C angepasst werden sollte.

9.3 Leistungsvorhersage

Relative Dichte >99 %, Härte >91 HRA, entsprechend einer 20 % höheren Verschleißfestigkeit.

9.4 Beispiele

YG8 (zweistufiges Sintern, Korngröße 1,0 µm, Biegefestigkeit 2400 MPa), wird für Stanzwerkzeuge verwendet, Lebensdauer >10.000-mal.

10. Hinweise

10.1 Gerätekalibrierung

Die Temperatur und der Vakuumgrad des Sinterofens wurden vor dem Test kalibriert, mit einer Abweichung von $\leq \pm 1$ %.

10.2 Prozesskontrolle

Stellen Sie sicher, dass die Reinheit der Atmosphäre >99,99 % beträgt und vermeiden Sie Oxidation.

10.3 Umweltkontrolle

Die Temperatur der Sinterkammer betrug 23 ± 2 °C und die Luftfeuchtigkeit lag bei < 60 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10.4 Sicherheitsschutz

Tragen Sie während des Betriebs eine Schutzbrille, um herumfliegende Pulverpartikel zu vermeiden.

11 Anhang (Informativer Anhang)

Anhang A Typische Sinterprozessparameter

Tabelle A.1 Sinterparameter verschiedener Sorten

Marke	Sinterverfahren	Temperatur (°C)	Haltezeit (min)	Atmosphäre	Relative Dichte (%)	Korngröße (μm)
YG6	Vakuumsintern	1450	60	Vakuum	99,5	0,8-1,0
YG8	Zweistufiges Sintern	1350+1480	60+30	Wasserstoff + Vakuum	99,3	1,0-1,2
YT15	HIP-Sintern	1450	90	Argon + Druck	99,8	0,6-0,8

Anhang B Fehleranalyse

B.1 Gerätefehler

Eine Temperaturabweichung von ± 10 °C beeinflusst die Porosität um $\leq \pm 0,03$ %.

B.2 Prozessabweichung

Eine Haltezeitabweichung von ± 5 Minuten führt zu einer relativen Dichteänderung von $\pm 0,5$ %.

B.3 Umweltauswirkungen

Ein Luftsauerstoffgehalt $> 0,01$ % erhöht die Porosität um $0,01-0,02$ %.

Anhang C Verbesserungsvorschläge

C.1 Verwenden Sie eine Online-Temperaturüberwachung, um die Abweichung auf $\leq \pm 5$ °C zu kontrollieren.

C.2 Verwenden Sie hochreines Inertgas, um den Sauerstoffgehalt auf $< 0,005$ % zu senken.

C.3 Führen Sie eine Schnellkühltechnologie ein, um das Kornwachstum zu verringern.

Anhang D Testdatenbeispiele

Tabelle D.1 YG6 Sintertestdaten

Parameter	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Durchschnittswert
Relative Dichte (%)	99,4	99,5	99,6	99,5
Korngröße (μm)	0,9	0,8	1,0	0,9
Härte (HRA)	91,4	91,6	91,5	91,5

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

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