


www.chinatungsten.com

Wolframhartmetall

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

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

en.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatun

1


www.chinatungsten.com

CTIA GROUP LTD

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


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

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



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

CTIA GROUP LTD 30 Years of Cemented Carbide Customization Experts

Core Advantages

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

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

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

Serving Customers

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

Service Commitment

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

Contact Us

Email : sales@chinatungsten.com

Tel : +86 592 5129696

Official website : www.ctia.com.cn

WeChat : Follow "China Tungsten Online"



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Teil 2: Herstellungsprozess von Hartmetall

Kapitel 4: Rohstoffauswahl und Pulveraufbereitung

Wolframhartmetall wird pulvermetallurgisch aus Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt (Co) oder Nickel (Ni) als Bindephase hergestellt. Seine Eigenschaften (Härte HV 1500–2500 ± 30, Zähigkeit K_{Ic} 820 MPa·m^{1/2} ± 0,5, Druckfestigkeit > 4000 MPa ± 100 MPa) hängen direkt von der Qualität der Rohstoffe und dem Pulveraufbereitungsverfahren ab. Die Auswahl der Rohstoffe und die Pulveraufbereitung bilden die Grundlage der Hartmetallherstellung und bestimmen die Mikrostruktur (WC-Partikelgröße 0,110 µm ± 0,01 µm, Gleichmäßigkeit der Co-Verteilung > 95 % ± 1 %) und die endgültigen Eigenschaften (Wärmeleitfähigkeit 80–120 W/m·K ± 5 W/m·K, Korrosionsbeständigkeit pH 212).

In diesem Kapitel werden die Synthese von Wolframkarbidpulver, die Auswahl der Bindephase und Additive, die Pulvervorbehandlungstechnologie und die Methoden zur Pulvercharakterisierung detailliert analysiert. Dabei werden Prozessparameter, wissenschaftliche Prinzipien, Einflussfaktoren, Optimierungsstrategien und technische Anwendungen behandelt.

Die Pulveraufbereitung erfordert eine präzise Kontrolle der WC-Partikelgröße (0,110 µm ± 0,01 µm), Reinheit (freier Kohlenstoff <0,1 % ± 0,01 %), Bindungsphaseneigenschaften (Co/Ni-Reinheit > 99,8 % ± 0,01 %) und Pulverfluidität (1316 Sekunden/50 g ± 0,5 Sekunden), um die Sinterdichte (> 99 % ± 0,1 %) und Leistungskonsistenz (Härteabweichung <± 30 HV) sicherzustellen. Beispielsweise kann submikronisches WC-Pulver (<0,5 µm ± 0,01 µm) die Härte des Werkzeugs auf 2300 ± 30 HV erhöhen und die Lebensdauer der Luftfahrtschneidmaschine auf

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

15 Stunden ± 1 Stunde verlängern; Hochreines Co-Pulver (>99,9 % ± 0,01 %) verbessert die Zähigkeit des Bohrers ($K_{1c} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) und die Lebensdauer beim Bergbau übersteigt 1200 m ± 100 m.

die Leistung in Kapitel 3 durch die Quelle der WC-Härte (HV 2000 – 3000±50) und den Beitrag der Co-Zähigkeit ($K_{1c} 1520 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), wodurch eine theoretische und prozessuale Grundlage für die anschließende Formgebung und Sinterung geschaffen wird (Kapitel 5).

4.0 Übersicht über Hartmetallarten sowie Roh- und Hilfsstoffe

Hartmetall ist ein Hochleistungsverbundwerkstoff mit Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Kobalt (Co) oder Nickel (Ni) als Bindephase. Es wird häufig in Schneidwerkzeugen, Formen, verschleißfesten Teilen und in anderen Bereichen verwendet. Je nach Anwendungsanforderungen und Leistungsmerkmalen kann Hartmetall in allgemeine Typen (YG-Serie), hitzebeständige/verschleißfeste Typen (YT-Serie), hochzähe/schlagfeste Typen (YW-Serie), nickelbasiertes Hartmetall (YN-Serie), hochentropische Legierungen und spezielle Typen für die additive Fertigung unterteilt werden. Die Arten und Anteile der Roh- und Hilfsstoffe variieren je nach Hartmetalltyp und Herstellungsverfahren. Generell können sie in drei Kategorien unterteilt werden: Hauptrohstoffe, Hilfsrohstoffe und Hilfsstoffe. Die Auswahl und Verwendung dieser Materialien muss den einschlägigen Normen strikt entsprechen, um die Produktqualität und Prozesskonsistenz sicherzustellen.

4.0.0 Haupttypen von Hartmetall

In der folgenden Tabelle sind die wichtigsten Hartmetallarten sowie ihre Eigenschaften, Prozessanforderungen, Anwendungsbereiche und eingehaltenen Normen detailliert aufgeführt, was die vielfältigen Anwendungsszenarien und Prozessanforderungen widerspiegelt.

Typ	Hauptbestandteile und Eigenschaften	Prozessanforderungen	Anwendungsbereiche	Standardanforderungen
YG-Serie	Besteht hauptsächlich aus WC und Co, ergänzt durch Ruß, mit hoher Härte und Zähigkeit	Kontrollieren Sie die Sinteratmosphäre und -temperatur streng, um das Eindringen von Verunreinigungen zu verhindern	Schneidwerkzeuge (z. B. Drehwerkzeuge, Fräser)	Erfüllen Sie die Probenahmeanforderungen gemäß GB/T 5314-2011 und befolgen Sie den Sinterprozess gemäß GB/T 26048-2010
YT-Serie	Durch Zugabe von TiC ist eine Paraffinschmierung erforderlich, um die Formbarkeit, die Hochtemperaturbeständigkeit	Kontrollieren Sie die Sinteratmosphäre und Temperatur, um Verunreinigungen zu vermeiden	Hochgeschwindigkeitsschneide (z. B. Stahlbearbeitung)	Erfüllen Sie die Probenahmeanforderungen gemäß GB/T 5314-2011 und befolgen Sie den Sinterprozess gemäß GB/T

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Typ	Hauptbestandteile und Eigenschaften	Prozessanforderungen	Anwendungsbereiche	Standardanforderungen
	und die Verschleißfestigkeit zu verbessern			26048-2010
YW-Serie	Enthält TaC und/oder NbC , erfordert Argonschutz, ist robust und temperaturbeständig	Sicherstellung der Reinheit der Argonatmosphäre und präzise Kontrolle der Temperatur	Hochleistungsmatrizen (z. B. Stanzmatrizen)	Erfüllen Sie die Probenahmeanforderungen gemäß GB/T 5314-2011 und befolgen Sie den Sinterprozess gemäß GB/T 26048-2010
YN-Serie	Ersetzen Sie Co durch Ni und fügen Sie TiN hinzu , um eine hervorragende Korrosionsbeständigkeit zu erreichen	Kontrollieren Sie die Sinteratmosphäre und Temperatur, um Oxidation zu verhindern	Korrosionsbeständige Umgebung (z. B. chemische Anlagen)	Erfüllen Sie die Probenahmeanforderungen gemäß GB/T 5314-2011 und befolgen Sie den Sinterprozess gemäß GB/T 26048-2010
Legierung mit hoher Entropie	Kombinationen mehrerer Elemente (wie Cr, V, Mo, W, Ta) erfordern präzises Mischen und einen HIP-Prozess, um die Einheitlichkeit zu gewährleisten	Genaueres Verhältnis, HIP-Sintern erfordert kontrollierten hohen Druck (50-100 MPa)	Extreme Umgebungen (wie hohe Temperaturen und hohe Drücke)	Erfüllen Sie die Probenahmeanforderungen gemäß GB/T 5314-2011 und befolgen Sie den Sinterprozess gemäß GB/T 26048-2010
Additive Fertigung	Sphärisches Pulver, hergestellt durch Gaszerstäubung, mit Oberflächenbehandlungsmitteln zur Leistungsverbesserung	Gaszerstäubungsprozess , strenge Kontrolle von Atmosphäre und Temperatur	Additiv gefertigte Teile (zB Luft- und Raumfahrtkomponenten)	Erfüllen Sie die Probenahmeanforderungen gemäß GB/T 5314-2011 und befolgen Sie den Sinterprozess gemäß GB/T 26048-2010
veranschaulichen	Alle Typen müssen den Probenahmestandards von GB/T 5314-2011 entsprechen, um die Chargenkonsistenz sicherzustellen. Der Sinterprozess wird gemäß GB/T 26048-2010 durchgeführt, wobei der Schwerpunkt auf der präzisen Kontrolle von Atmosphäre und Temperatur liegt, um das Eindringen von Verunreinigungen zu vermeiden.			

4.0.1 Hauptrohstoffe von Hartmetall

Die Hauptrohstoffe sind die Kernkomponenten von Hartmetall, die dessen mechanische Eigenschaften und Lebensdauer direkt beeinflussen. Nachfolgend finden Sie eine Übersicht über die wichtigsten Rohstoffe:

Wolframcarbid (WC, Wolframcarbid):

Funktion: Als harte Phase bietet es eine extrem hohe Härte (> 2000 HV) und Verschleißfestigkeit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und macht 70–94 % (Gew.- %) der Gesamtzusammensetzung aus.

: Reinheit $\geq 99,8$ %, Korngröße 0,2–5 μm (feine Körner 0,2–0,5 μm , grobe Körner > 2 μm) .

Anwendungsbereich: Alle Hartmetallarten.

Kobaltpulver (Co, Kobaltpulver):

Funktion: Als traditionelle Bindephase erhöht es die Zähigkeit und Biegefestigkeit. Der Gehalt beträgt üblicherweise 6–25 % (Gew.- %).

: Reinheit $\geq 99,9$ %, Partikelgröße 1–5 μm .

Anwendungsbereich: YG-, YT-, YW-Serie und Hochentropielegierungen.

Nickelpulver

Funktion: Ersetzt Kobalt als korrosionsbeständige Bindungsphase, verbessert die Oxidationsbeständigkeit, Gehalt 5–20 % (Gew.- %).

: Reinheit $\geq 99,9$ %, Partikelgröße 1–5 μm .

Anwendungsbereich: YN-Serie und additive Fertigungstypen.

Andere Carbide:

Hartmetall (TiC)

Verbesserte Hochtemperaturbeständigkeit und Kraterverschleißfestigkeit, Gehalt 5–20 % (Gew.- %), Reinheit $\geq 99,5$ % , Partikelgröße 0,5–2 μm , geeignet für die Serien YT und YN.

Carbide (TaC) / Niobcarbide (NbC)

Verbesserte Hochtemperaturfestigkeit und Verformungsbeständigkeit, Gehalt 2–10 % (Gew.- %), Reinheit $\geq 99,5$ % , Partikelgröße 0,5–3 μm , geeignet für die YW- Serie und Hochentropielegierungen.

4.0.2 Hilfsrohstoffe

Hilfsrohstoffe dienen der Leistungsoptimierung oder der Anpassung an spezifische Prozessanforderungen. Sie können je nach Sorte und Anwendungsszenario flexibel ausgewählt werden:

Kohlenstoff-Einsteller:

Ruß

Kontrollieren Sie den Kohlenstoffhaushalt, um die Bildung von η -Phase ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) oder freiem Kohlenstoff zu verhindern , Gehalt 0,1–0,5 % (Gew.-%), Reinheit ≥ 99 % , Partikelgröße < 1 μm , geeignet für alle Typen (insbesondere Flüssigphasensintern) .

Graphit

Stellen Sie als Kohlenstoffquelle den Kohlenstoffgehalt auf 0,1–0,3 % (Gew.- %), Reinheit $\geq 99,5$ % und Partikelgröße 1–5 μm ein , geeignet für die YG-Serie und Pulver für die additive Fertigung .

Seltene Erden:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cer (Ce) / Lanthan (La)

Verfeinert die Körnung und verbessert die Biegefestigkeit. Der Gehalt beträgt 0,1–0,5 % (Gew.- %) in Form von Oxiden mit einer Reinheit von $\geq 99,9$ %. Geeignet für feinkörnige Sorten (wie YG6F, YN6F).

Nitrid/Borid

Nitrid (TiN)/Wolframborid (WB): Verbessert die Oberflächenhärte und Korrosionsbeständigkeit, Gehalt 1–5 % (Gew.- %), Reinheit $\geq 99,5$ %, Partikelgröße 0,5–3 μm , geeignet für YT-, YN-Serie und additive Fertigung.

4.0.3 Hilfsstoffe

Hilfsstoffe unterstützen den Aufbereitungs- und Sinterprozess und gewährleisten Prozesskontrollierbarkeit und Produktqualität:

Schmiermittel:

Stearinsäure

Verbessert die Misch- und Pressfließfähigkeit, Gehalt 0,5–2 % (Gew.- %), Industriequalität, Reinheit ≥ 95 %, geeignet für alle Pressvorgänge.

Paraffinwachs

Erhöht die Festigkeit des Grünkörpers, Gehalt 1–3 % (Gew.- %), Schmelzpunkt 50–60 °C, geeignet für Grünkörper mit komplexen Formen.

Lösungsmittel:

Ethanol/Aceton

Wird für Nassmisch-Dispersionsmedien, Reinigung und Trocknung verwendet, analytische Qualität, Konzentration $\geq 99,5$ %, geeignet für alle Nassmisch- und additiven Fertigungs-Nachbearbeitungen.

Atmosphärendgas:

Wasserstoff (H₂) /Argon (Ar)/Stickstoff (N₂)

Sorgen Sie für eine reduzierende oder inerte Atmosphäre, um Oxidation zu verhindern. Reinheit $> 99,99$ %, geeignet für YG/YT (Wasserstoff), YW/YN/HIP (Argon), TiN -Legierung (Stickstoff).

Flussmittel (optional):

Borsäure (H₃BO₃) : senkt die Sintertemperatur, Gehalt 0,1–0,5 %, Analysequalität, geeignet für feine Körner und Legierungen mit hoher Entropie.

4.0.4 Detaillierte Tabelle der Roh- und Hilfsstoffe

In der folgenden Tabelle sind alle für die verschiedenen Hartmetallarten (einschließlich der nickelbasierten Hartmetall-YN-Reihe) erforderlichen Roh- und Hilfsstoffe systematisch aufgelistet und werden mit Spezifikationen, Funktionen und Anwendungsbereichen beschrieben.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kategorie	Material	Spezifikation	Wirkung	Anwendbare Typen
Hauptrohstoffe	Wolframkarbid (WC)	Reinheit $\geq 99,8$ % Partikelgröße 0,2–5 μm	Hartphase, sorgt für hohe Härte und Verschleißfestigkeit, Gehalt 70–94 % (Gew.-%)	Alle Typen (YG, YT, YW, YN, hohe Entropie, additive Fertigung)
	Kobaltpulver (Co)	Reinheit $\geq 99,9$ % Partikelgröße 1–5 μm	Bindephase, erhöht die Zähigkeit und Biegefestigkeit, Gehalt 6–25 % (Gew.-%)	YG (6 %–15 %), YT (6 %–10 %), YW (8 %–12 %), hohe Entropie
	Nickelpulver (Ni)	Reinheit $\geq 99,9$ % Partikelgröße 1–5 μm	Korrosionsbeständige Bindephase, erhöhte Oxidationsbeständigkeit, Gehalt 5–20 % (Gew.-%)	YN-Serie (z. B. YN6, YN8), additive Fertigung
	Titancarbid (TiC)	Reinheit $\geq 99,5$ % Partikelgröße 0,5–2 μm	Verbessert die Hochtemperaturbeständigkeit und Kolkverschleißfestigkeit, Gehalt 5–20 % (Gew.-%)	YT-Serie (wie YT15, YT30), YN-Serie
	Tantalcarbid (TaC) / Niobcarbid (NbC)	Reinheit $\geq 99,5$ % Partikelgröße 0,5–3 μm	Verbessert die Hochtemperaturfestigkeit und Verformungsbeständigkeit, Gehalt 2–10 % (Gew.-%)	YW-Serie (wie YW1, YW2), Hochentropielegierung
Hilfsrohstoffe	Ruß (C)	Reinheit ≥ 99 % Partikelgröße < 1 μm	Kontrollieren Sie den Kohlenstoffhaushalt und verhindern Sie die Bildung der η -Phase, Gehalt 0,1 %–0,5 % (Gew.-%)	Alle Arten (insbesondere Flüssigphasensintern)
	Graphit	Reinheit $\geq 99,5$ % Partikelgröße 1–5 μm	Als Kohlenstoffquelle den Kohlenstoffgehalt auf 0,1%–0,3% (Gew.-%) einstellen	YG-Serie, Pulver für die additive Fertigung
	Seltene Erden (Ce/La)	Oxidform, Reinheit $\geq 99,9$ %	Verfeinert die Körner und verbessert die Biegefestigkeit, Gehalt 0,1 %–0,5 % (Gew.-%)	Feinkörnige Güten (wie YG6F, YN6F)
	Titannitrid (TiN) / Wolframborid (WB)	Reinheit $\geq 99,5$ % Partikelgröße 0,5–3 μm	Verbessert die Oberflächenhärte und Korrosionsbeständigkeit, Gehalt 1–5 % (Gew.-%)	YT, YN-Serie, additive Fertigung
Hilfsstoffe	Stearinsäure	Industriequalität, Reinheit ≥ 95 %	Verbessert die Misch- und Pressfließfähigkeit, Gehalt 0,5–2 % (Gew.-%)	Alle Pressverfahren
	Paraffinwachs	Schmelzpunkt 50–60°C	Verbessern Sie die Festigkeit des Grünkörpers, Inhalt 1%–3% (Gew.-%)	Rohling mit komplexer Form
	Ethanol/Aceton	Analytische Qualität, Konzentration	Nassmischen von Dispersionsmedien, Reinigen und Trocknen	Alle Nassmischungen, additive Fertigung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kategorie	Material	Spezifikation	Wirkung	Anwendbare Typen
		≥99,5 %		
	Wasserstoff (H ₂) /Argon (Ar)/Stickstoff (N ₂)	Reinheit >99,99 %	Reduzierende oder inerte Atmosphäre zur Vermeidung von Oxidation	Alle Sinterprozesse (Wasserstoff: YG, YT; Argon: YW, YN, HIP; Stickstoff: TiN-Legierung)
	Borsäure (H ₃ BO ₃)	Analytische Qualität	Flussmittel, senkt die Sintertemperatur, Gehalt 0,1%–0,5% (Gew.-%)	Feinkörnige Legierung mit hoher Entropie
Spezielle Prozessmaterialien	Sphäroidisierungsmittel (wie PVA)	Industriequalität	Verbessern Sie die Sphärizität des Pulvers, Gehalt 0,1%–0,5% (Gew.-%)	Additive Fertigung (GB/T 34505-2017)
	CVD-Vorläufer (wie TiCl ₄ , CH ₄)	Hohe Reinheit	Für beschichtetes Hartmetall	Beschichtetes Hartmetall (YT-, YN-Serie)

Hinweis: Die Tabelle enthält die für verschiedene Hartmetallarten erforderlichen Roh- und Hilfsstoffe einschließlich Spezifikationen, Funktionen und Anwendungsbereich, um die Vollständigkeit und Relevanz des Herstellungsprozesses sicherzustellen.

4.1 Physikalische und chemische Eigenschaften und Herstellung von Wolframcarbidpulver (WC)

Wolframcarbid (WC) ist der Kernbestandteil von Hartmetall mit einem Massenanteil von 70–95 % ± 1 %. Seine hervorragenden physikalischen und chemischen Eigenschaften bestimmen direkt die Gesamtleistung von Hartmetall. WC-Pulver hat eine hohe Härte (HV 2000–3000 ± 50), einen hohen Schmelzpunkt (2870 °C ± 10 °C), eine ausgezeichnete chemische Stabilität (Antioxidationsenthalpie < 800 kJ/mol ± 20 kJ/mol) sowie eine gute Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit. Die Herstellung von WC-Pulver erfordert eine strenge Kontrolle der Partikelgröße (0,1–10 µm ± 0,01 µm), Reinheit (freier Kohlenstoff < 0,1 % ± 0,01 %, Oxid < 0,05 % ± 0,01 %) und Morphologie (polygonal, Kante < 0,05 µm ± 0,01 µm), um den Anforderungen von High-End-Anwendungen wie Luftfahrtwerkzeugen (Schnittgeschwindigkeit > 300 m/min ± 10 m/min), Bergbaubohrern (Druckfestigkeit > 200 MPa ± 10 MPa) und verschleißfesten Formen (Extrusionslebensdauer > 10⁶-mal ± 10⁵-mal) gerecht zu werden.

Die Karbonisierung ist aufgrund ihrer ausgereiften Technologie, der hohen Ausbeute (> 10 t/Charge ± 1 t) und eines Marktanteils von > 90 % ± 2 % das wichtigste Syntheseverfahren für WC-Pulver. Darüber hinaus wurden neue Technologien wie Plasma-, mechanochemische und chemische Gasphasenabscheidung (CVD) in moderne Prozesse integriert, um spezifische Anforderungen an Partikelgröße und Leistung zu erfüllen. Die Syntheseverfahren für durch Karbonisierung hergestelltes Wolframcarbid (WC)-Pulver umfassen hauptsächlich Folgendes:

Traditionelle Aufkohlungsmethode:

Wolframpulver (W) und Ruß (C) reagieren bei einer hohen Temperatur von 1450–1600 °C ± 10 °C und bilden WC, normalerweise in einer Wasserstoffatmosphäre (H₂, Durchflussrate 50 l/min ± 5 l/

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

min) oder im Vakuum ($<10^{-2}\text{Pa} \pm 10^{-3}\text{ Pa}$). Atmosphäre, unter Verwendung eines Graphitofens (Leistung $> 100\text{ kW} \pm 10\text{ kW}$). Die Heizrate beträgt $5\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, die Isolationszeit $2\text{--}4\text{ Stunden} \pm 0,1\text{ Stunden}$. Geeignet für die Großserienproduktion mit hoher Ausbeute ($> 10\text{ t}/\text{Charge} \pm 1\text{ t}$).

Karbonisierungsverfahren im Drehofen:

Basierend auf dem traditionellen Karbonisierungsverfahren wird ein Drehofen (Rotationsgeschwindigkeit $5\text{ U}/\text{min} \pm 0,5\text{ U}/\text{min}$) verwendet, um die Gleichmäßigkeit der Partikelgröße zu verbessern (Abweichung $< 5\% \pm 1\%$) und die Agglomeration ($< 5\% \pm 1\%$) durch dynamisches Mischen zu verringern, was für die Produktion von WC im Submikronbereich ($< 0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) geeignet ist.

Niedertemperatur-Karbonisierungsmethode:

Reaktion bei $<1200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, kombiniert mit erneuerbaren Kohlenstoffquellen (wie Biokohle) und Kontrolle des Kornwachstums ($<0,1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) durch Zusatzstoffe (wie VC, Cr_3C_2), geeignet für WC-Pulver im Nanomaßstab, wodurch der Energieverbrauch um $20\% \pm 5\%$ gesenkt wird.

Bei allen diesen Methoden ist eine Kontrolle des W:C-Verhältnisses ($1:1,02 \pm 0,01$), der Atmosphäre ($\text{O}_2 < 10\text{ ppm} \pm 1\text{ ppm}$) und der Abkühlrate ($>50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$) erforderlich, um Reinheit (freier Kohlenstoff $<0,1\% \pm 0,01\%$) und Partikelgrößenverteilung (Abweichung $< 5\% \pm 1\%$) sicherzustellen.

In diesem Abschnitt werden die physikalischen und chemischen Eigenschaften von WC-Pulver, der Produktionsprozess (hauptsächlich die Karbonisierungsmethode), die Bedeutung und Kontrolltechnologie der Partikelgröße und Kornverteilung, die Reinheitsoptimierung und ihre Anwendungseffekte in mehreren Bereichen umfassend analysiert.

4.1.0 Physikalische Eigenschaften und chemische Eigenschaften von Wolframcarbidpulver

Physikalische Eigenschaften von Wolframcarbidpulver (WC)

Als Kernbestandteil von Hartmetall bestimmen die physikalischen Eigenschaften von Wolframcarbidpulver (WC) direkt dessen Leistung. Im Folgenden finden Sie eine umfassende Beschreibung der physikalischen Eigenschaften von WC-Pulver, einschließlich Kristallstruktur, Dichte (unterteilt in Schüttdichte und Klopfdichte), Schmelzpunkt, Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnungskoeffizient, Morphologie und weiteren damit verbundenen Eigenschaften.

(1) Kristallstruktur von Wolframcarbidpulver

Kristalltyp

WC-Pulver gehört zum hexagonalen Kristallsystem und seine Raumgruppe ist $P6m2$ (186).

Gitterparameter:

$a = 0,2906\text{ nm} \pm 0,0001\text{ nm}$

$c = 0,2837\text{ nm} \pm 0,0001\text{ nm}$

Das c/a -Verhältnis beträgt etwa $0,976$, was darauf hinweist, dass das Gitter eine hohe Isotropie

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aufweist.

Eigenschaften der Elementarzelle

Jede Elementarzelle enthält ein WC-Molekül. Wolfram- (W)- und Kohlenstoff- (C)-Atome sind in einer hexagonal dicht gepackten Struktur angeordnet. W-Atome befinden sich an den Ecken und im Zentrum des hexagonalen Prismas, und C-Atome füllen die Lücken im hexagonalen Prisma und bilden so eine stabile kovalent-ionische-metallische Mischbindung.

Kristallstabilität

Die hexagonale Struktur verleiht WC eine hervorragende Verformungsbeständigkeit, insbesondere unter Hochtemperatur- und Hochdruckbedingungen ($>1000\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, $>200\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$), mit einer Gitterverzerrungsrate von $<0,01\% \pm 0,001\%$, wodurch es für Anwendungen in extremen Umgebungen geeignet ist.

(2) Dichte des Wolframcarbidpulvers

Theoretische Dichte: $15,63\text{ g/cm}^3 \pm 0,05\text{ g/cm}^3$, nahe dem theoretischen Maximalwert, was die enge Anordnung der WC-Atome widerspiegelt.

Scheinbare Dichte von Wolframcarbidpulver:

Definition: Die Dichte des Pulvers in seinem natürlichen Stapelzustand, die die Stapeleffizienz der Partikel widerspiegelt.

Wert: $6,0\text{--}8,0\text{ g/cm}^3 \pm 0,2\text{ g/cm}^3$ (GB/T 1479.1-2011), beeinflusst durch Partikelgröße und Morphologie.

Submikron-WC ($0,1\text{--}0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$): Aufgrund der großen Lücken zwischen den feinen Partikeln ist die Schüttdichte geringer ($6,0\text{--}6,5\text{ g/cm}^3 \pm 0,2\text{ g/cm}^3$).

WC in Mikronqualität ($1\text{--}5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$): Schüttdichte $6,5\text{--}7,5\text{ g/cm}^3 \pm 0,2\text{ g/cm}^3$.

Grobes WC ($5\text{--}10\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$): Die Schüttdichte ist höher ($7,5\text{--}8,0\text{ g/cm}^3 \pm 0,2\text{ g/cm}^3$), da die Partikel dichter gepackt sind.

Auswirkungen: Die Schüttdichte beeinflusst die Ausgangsdichte des Presskörpers. Feinkörniges WC erfordert die Zugabe von Schmiermitteln (z. B. Paraffin), um die Fließfähigkeit zu verbessern ($<30\text{ s}/50\text{ g} \pm 2\text{ s}$, GB/T 1482-2010).

Klopfdichte von Wolframcarbidpulver:

Definition: Die Dichte des Pulvers nach der Vibration (Vibrationsfrequenz $60\text{ Mal/min} \pm 5\text{ Mal/min}$), die die maximale Packungseffizienz der Partikel widerspiegelt.

Wert: $8,5\text{--}10,5\text{ g/cm}^3 \pm 0,2\text{ g/cm}^3$ (GB/T 5162-2014).

Submikron-WC: $8,5\text{--}9,0\text{ g/cm}^3 \pm 0,2\text{ g/cm}^3$.

WC in Mikronqualität: $9,0\text{--}10,0\text{ g/cm}^3 \pm 0,2\text{ g/cm}^3$.

Grobes WC: $10,0\text{--}10,5\text{ g/cm}^3 \pm 0,2\text{ g/cm}^3$.

Auswirkungen: Die Klopfdichte liegt näher an der Dichte nach dem Sintern ($>99\% \pm 0,1\%$), und eine hohe Klopfdichte verringert die Sinterschrumpfung ($<15\% \pm 2\%$).

Tatsächliche Dichte: Die gemessene Dichte nach dem Sintern beträgt $15,50\text{--}15,60\text{ g/cm}^3 \pm 0,05\text{ g/cm}^3$ (Entwässerungsmethode GB/T 3850-2015), die von der Reinheit (freier Kohlenstoff $<0,1\%$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$\pm 0,01 \%$, Oxid $<0,05 \%$ $\pm 0,01 \%$) und Porosität ($<0,05 \%$ $\pm 0,01 \%$) beeinflusst wird.

Anwendungsbedeutung: Hohe Schüttdichte und Klopfdichte gewährleisten die Gleichmäßigkeit des Press- und Sinterprozesses und unterstützen die hohe Druckfestigkeit und Schlagfestigkeit von Hartmetall.

(3) Schmelzpunkt von Wolframcarbidpulver

Schmelzpunkt: $2870 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$. WC schmilzt unter Normaldruck nicht, sondern zersetzt sich in W und C. Die Zersetzungstemperatur liegt nahe dem Schmelzpunkt.

Hohe Temperaturstabilität: Bei $2000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ beträgt die thermische Gitterausdehnung $<0,5 \%$ $\pm 0,1 \%$ und die Gewichtsverlustrate $<0,01 \%$ $\pm 0,002 \%$ /h, was für Hochtemperaturschneiden ($> 1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$) und verschleißfeste Beschichtungsanwendungen geeignet ist.

Zersetzungsverhalten: Im Vakuum oder reduzierender Atmosphäre (H_2) beträgt die Zersetzungsrate $<0,001 \text{ mg/cm}^2\cdot\text{h} \pm 0,0002 \text{ mg/cm}^2\cdot\text{h}$, was auf chemische Stabilität hinweist.

(4) Wärmeleitfähigkeit von Wolframcarbidpulver

Wärmeleitfähigkeit: $84 \text{ W/(m} \cdot \text{K)} \pm 5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$, etwas niedriger als reines Wolfram ($174 \text{ W/(m} \cdot \text{K)} \pm 5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$), aber besser als die meisten keramischen Materialien.

Temperaturabhängigkeit: Im Bereich von $25\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ nimmt die Wärmeleitfähigkeit mit zunehmender Temperatur langsam ab (ca. $10\% \pm 2\%$) und beträgt bei $1000\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ immer noch $75 \text{ W/(m} \cdot \text{K)} \pm 5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$.

Anwendungsbedeutung: Eine hohe Wärmeleitfähigkeit trägt dazu bei, Wärme schnell abzuleiten, thermische Schäden an Werkzeugen oder Formen beim Hochgeschwindigkeitsschneiden ($> 300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$) zu reduzieren und die Lebensdauer ($> 12 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$) zu verlängern.

(5) Wärmeausdehnungskoeffizient von Wolframcarbidpulver

Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient: $5,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ($25\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$).

Temperaturabhängigkeit: Bei $1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ beträgt die Ausdehnungsrate $<0,52 \%$ $\pm 0,02 \%$, was viel niedriger ist als die von Stahl ($12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), wodurch die Dimensionsstabilität bei hohen Temperaturen gewährleistet ist.

Anpassung: Der Wärmeausdehnungskoeffizient liegt nahe an dem der Bindungsphase von Co ($5,0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) oder Ni ($6,0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), wodurch die Restspannung nach dem Sintern ($<50 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$) reduziert wird.

(6) Morphologie des Wolframcarbidpulvers

Partikelmorphologie: WC-Pulver ist polygonal oder nahezu kugelförmig, mit Kanten $<0,05 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$ und einer Oberflächenrauheit $\text{Ra} <0,1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,02 \text{ } \mu\text{m}$ (SEM-Beobachtung).

Morphologischer Einfluss:

Die polygonale Morphologie vergrößert die Partikelkontaktfläche ($>90 \%$ $\pm 2 \%$) und verbessert die Sinterbindungsfestigkeit ($>400 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$).

Die feinen Kanten reduzieren die Agglomeration ($<5 \%$ $\pm 1 \%$), verbessern die Fließfähigkeit ($<30 \text{ s/50 g} \pm 2 \text{ s}$, GB/T 1482-2010) und eignen sich für die additive Fertigung.

Einfluss der Herstellung: Das Karbonisierungsverfahren ($1450\text{--}1600 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$) erzeugt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

polygonale Partikel mit scharfen Kanten; das Plasmaverfahren erzeugt nahezu kugelförmige Partikel (Rundheit $> 0,9 \pm 0,01$).

(7) Spezifische Oberfläche des Wolframcarbidpulvers

Spezifische Oberfläche: $0,5\text{--}5 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,2 \text{ m}^2/\text{g}$, abhängig von der Partikelgröße.

Submikron-WC ($0,1\text{--}0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) : spezifische Oberfläche $> 3 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,2 \text{ m}^2/\text{g}$.

Mikron WC ($1\text{--}5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) : spezifische Oberfläche $1\text{--}2 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,2 \text{ m}^2/\text{g}$.

Messmethode: BET-Methode (GB/T 19587-2017), Adsorptionsmenge $< 0,5 \text{ cm}^3/\text{g} \pm 0,05 \text{ cm}^3/\text{g}$.

Bedeutung für die Anwendung: Eine hohe spezifische Oberfläche steigert die Sinteraktivität (Schrumpungsrate $> 15 \% \pm 2 \%$) und verbessert die Dichte des Hartmetalls ($> 99 \% \pm 0,1 \%$).

(8) Elektrische Eigenschaften von Wolframcarbidpulver

Spezifischer Widerstand: $0,2 \mu\Omega \cdot \text{m} \pm 0,02 \mu\Omega \cdot \text{m}$ ($25 \text{ }^\circ\text{C}$), steigt um etwa $20 \% \pm 2 \%$, wenn die Temperatur auf $1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ansteigt.

Elektrische Leitfähigkeit: Besser als Keramikwerkstoffe (spezifischer Widerstand $> 10^6 \mu\Omega \cdot \text{m}$), nahe an Metall Wolfram ($0,05 \mu\Omega \cdot \text{m} \pm 0,01 \mu\Omega \cdot \text{m}$), geeignet für EDM.

beträgt die Oberflächenrauheit $R_a < 1 \mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$, die Genauigkeit $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

(9) Weitere Eigenschaften von Wolframcarbidpulver

Magnetismus: WC selbst ist nicht magnetisch, zeigt jedoch in Mischung mit Co einen schwachen Magnetismus (Sättigungsmagnetisierungsintensität $< 0,1 \text{ A} \cdot \text{m}^2/\text{kg} \pm 0,01 \text{ A} \cdot \text{m}^2/\text{kg}$), was die magnetische Trennung von Verunreinigungen erleichtert.

Glanz: Grau-schwarzer metallischer Glanz, Reflexionsgrad $< 20 \% \pm 2 \%$ ($400\text{--}700 \text{ nm}$), wird zur visuellen Inspektion verwendet.

Hygroskopizität: Feuchtigkeitsabsorptionsrate $< 0,01 \% \pm 0,002 \%$ ($25 \text{ }^\circ\text{C}$, 50% relative Luftfeuchtigkeit), muss in einem verschlossenen Behälter gelagert werden.

der Eigenschaften von Wolframcarbidpulver und seiner Anwendung

Kristallstruktur und Wärmeleitfähigkeit: Hexagonales Kristallsystem und hohe Wärmeleitfähigkeit unterstützen verschleißfeste Formen (Verformung $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$) und Hochtemperaturbeschichtungen ($> 1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$).

Dichte und Wärmeausdehnungskoeffizient: Eine hohe Klopfdichte und eine geringe Wärmeausdehnung optimieren die Sinterleistung (Dichte $> 99\% \pm 0,1\%$) und verbessern die Qualität additiv gefertigter Teile ($R_a < 5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$).

Morphologie und spezifische Oberfläche: Polygonale Morphologie und hohe spezifische Oberfläche verbessern die Sinteraktivität und eignen sich für Schneidwerkzeuge ($> 300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$).

Korrelation der Partikelgröße: Feinkörniges WC ($< 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) verbessert die Verdichtungsdichte, während grobkörniges WC ($5\text{--}10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) die Stapeleffizienz erhöht.

Prüfung und Kontrolle der physikalischen Eigenschaften von Wolframcarbidpulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Messmethoden und Standards:

Dichte

GB/T 3850-2015 Theoretische Dichte,
GB/T 1479.1-2011 Schüttdichte,
GB/T 5162-2014 Klopfdichte,
Kristallstruktur (XRD, GB/T 27708-2011),
Morphologie (SEM, GB/T 16594-2008).

Kontrollstandards

Partikelgrößenabweichung $<5 \% \pm 1 \%$ (GB/T 19077.1-2008), Reinheit beeinflusst die Dichte und freier Kohlenstoff muss $<0,1 \% \pm 0,01 \%$ gehalten werden.

Die physikalischen Eigenschaften von Wolframcarbidpulver umfassen hexagonale Struktur ($a=0,2906 \text{ nm} \pm 0,0001 \text{ nm}$, $c=0,2837 \text{ nm} \pm 0,0001 \text{ nm}$), Dichte (lose $6,0\text{-}8,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,2 \text{ g/cm}^3$, geklopft $8,5\text{-}10,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,2 \text{ g/cm}^3$, theoretisch $15,63 \text{ g/cm}^3 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$), Schmelzpunkt ($2870^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$), Wärmeleitfähigkeit ($84 \text{ W/(m}\cdot\text{K)} \pm 5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$), niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten ($5,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), polygonale Morphologie (Kanten $<0,05 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) und hervorragende elektrische Eigenschaften. Diese Eigenschaften machen es zu einem idealen Werkstoff für die Anwendung in der Luftfahrt, in Bergbaubohrern, verschleißfesten Formen und in der additiven Fertigung. Seine Leistung wird durch die Veränderung von Partikelgröße und Reinheit optimiert und bietet eine solide Grundlage für die Anwendung von Hartmetall.

Chemische Eigenschaften von Wolframcarbidpulver (WC)

Als Hauptbestandteil von Hartmetall spielen die chemischen Eigenschaften von Wolframcarbidpulver (WC) eine Schlüsselrolle für dessen Stabilität und Haltbarkeit in industriellen Anwendungen. Im Folgenden finden Sie eine umfassende Beschreibung der chemischen Eigenschaften von WC-Pulver, einschließlich chemischer Stabilität, Korrosionsbeständigkeit, Oxidationsbeständigkeit, Reaktivität und weiterer damit verbundener chemischer Eigenschaften. Diese basieren auf wissenschaftlichen Daten und industriellen Anwendungsstandards (wie GB/T 5124-2017).
Aktuelles Datum und Uhrzeit: 22. Mai 2025, 14:12 Uhr HKT.

(1) Chemische Stabilität von Wolframcarbidpulver

Raumtemperaturstabilität

WC weist bei Raumtemperatur ($25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) eine extrem hohe chemische Stabilität auf, reagiert nicht auf die meisten Chemikalien und hat eine Zersetzungsrates von $<0,0001 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h} \pm 0,00002 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$.

Säure- und Basenstabilität

In Lösungen mit einem pH-Wert von 2–12 (wie HCl, NaOH) beträgt die Korrosionsrate $<0,001 \text{ mm/Jahr} \pm 0,0002 \text{ mm/Jahr}$, was auf eine hervorragende Beständigkeit gegenüber sauren und alkalischen Umgebungen hinweist.

Hohe Temperaturstabilität

In sauerstofffreier Umgebung bei Temperaturen $<600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ bleibt WC stabil, ohne dass es zu

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

signifikanten chemischen Veränderungen an der Oberfläche kommt (Gewichtsverluste $<0,005\% \pm 0,001\%/h$). In inerter Atmosphäre (z. B. Argon oder N_2 , Reinheit $>99,99\% \pm 0,01\%$) bleibt die Stabilität bis zu Temperaturen von $2000\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ erhalten.

(2) Korrosionsbeständigkeit von Wolframcarbidpulver

Saure Umgebung

In verdünnter Säure (wie etwa 10% HCl oder H_2SO_4 , $pH\ 2 \pm 0,1$) beträgt die Korrosionsrate von WC $<0,001\text{ mm/Jahr} \pm 0,0002\text{ mm/Jahr}$ und es sind keine offensichtlichen Löcher auf der Oberfläche vorhanden (SEM-Beobachtung, Lochtiefe $<0,01\ \mu\text{m} \pm 0,002\ \mu\text{m}$).

Alkalische Umgebung

In einer 10% igen NaOH-Lösung ($pH\ 12 \pm 0,1$) beträgt die Korrosionsrate $<0,002\text{ mm/Jahr} \pm 0,0005\text{ mm/Jahr}$, was auf eine gute Alkalibeständigkeit hindeutet.

Salzlösung

In einer $3,5\%$ igen NaCl-Lösung (simulierte Meerwasserumgebung) beträgt die Korrosionsrate $<0,003\text{ mm/Jahr} \pm 0,0005\text{ mm/Jahr}$, was für korrosionsbeständige Umgebungen (wie z. B. chemische Geräte) geeignet ist.

Anwendungsbedeutung

Aufgrund der hervorragenden Korrosionsbeständigkeit eignet sich WC-Pulver für verschleißfeste Teile in sauren oder alkalischen Bedingungen, wie beispielsweise Dichtungen für Chemiepumpen (Lebensdauer $> 5000\text{ Stunden} \pm 500\text{ Stunden}$).

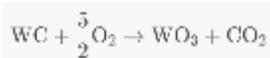
(3) Oxidierbarkeit von Wolframcarbidpulver

Antioxidative Kapazität

Die Oxidationsresistenzenthalpie von WC beträgt $<800\text{ kJ/mol} \pm 20\text{ kJ/mol}$ und es oxidiert in Luft bei $<600\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ kaum (Oxidationsrate $<0,01\text{ mg/cm}^2 \cdot h \pm 0,002\text{ mg/cm}^2 \cdot h$).

Hochtemperaturoxidation

Bei $>600\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ in Luft oxidiert WC langsam zu WO_3 (gelbes Oxid) mit der folgenden Reaktionsformel:



$600\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$

Oxidationsrate: $0,01\text{--}0,05\text{ mg/cm}^2 \cdot h \pm 0,005\text{ mg/cm}^2 \cdot h$, Oxidschichtdicke: $<0,1\ \mu\text{m} \pm 0,02\ \mu\text{m}$.

$1000\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$

Die Oxidationsrate stieg auf $0,5\text{ mg/cm}^2 \cdot h \pm 0,05\text{ mg/cm}^2 \cdot h$ und die Oxidschichtdicke betrug $1\text{--}2\ \mu\text{m} \pm 0,2\ \mu\text{m}$.

Atmosphärenkontrolle

In reduzierender Atmosphäre (H_2 , $O_2 < 10\text{ ppm} \pm 1\text{ ppm}$) oder Vakuum ($<10^{-2}\text{ Pa} \pm 10^{-3}\text{ Pa}$) beträgt die Oxidationsrate $<0,001\text{ mg/cm}^2 \cdot h \pm 0,0002\text{ mg/cm}^2 \cdot h$, was für die Hochtemperaturverarbeitung geeignet ist.

Anwendungsbedeutung

Eine langfristige Einwirkung von hohen Temperaturen in oxidierenden Umgebungen (z. B. Luft $>600\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$) sollte vermieden werden. Zur Verlängerung der Lebensdauer wird

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

üblicherweise eine Beschichtung (z. B. TiN) oder ein Schutz durch eine inerte Atmosphäre (z. B. Ar) verwendet.

(4) Reaktivität von Wolframcarbidpulver

Mit starken Oxidationsmitteln

reagiert mit starken Oxidationsmitteln (wie konzentrierter HNO_3 oder H_2O_2) zu WO_3 , und die Reaktionsgeschwindigkeit steigt mit zunehmender Konzentration und Temperatur:

$25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, 10% HNO_3 : Reaktionsrate $< 0,01 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h} \pm 0,002 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$.

$80^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, 30% HNO_3 : Reaktionsrate $0,1-0,5 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h} \pm 0,05 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$.

Mit Metall

Beim Hochtemperaturesintern ($> 1200^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) reagiert WC mit der Bindephase (z. B. Co, Ni) und bildet eine feste Lösung (z. B. $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ oder $\text{Ni}_3\text{W}_3\text{C}$). Der Reaktionsgrad wird durch die Atmosphäre gesteuert:

Wasserstoffatmosphäre (H_2): Reaktionsrate $< 0,1\% \pm 0,02\%/\text{h}$, der Anteil der gebildeten η -Phase ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) beträgt $< 0,5\% \pm 0,1\%$.

Vakuumatmosphäre: Die Reaktionsrate wird auf $< 0,05\% \pm 0,01\%/\text{h}$ reduziert, wodurch die Bildung der η -Phase verringert wird.

Mit Nichtmetall

WC reagiert bei hohen Temperaturen mit Kohlenstoff (C) und erzeugt W_2C (geringe Härte, HV $< 2000 \pm 50$), und der Kohlenstoffgehalt muss kontrolliert werden (W:C-Molverhältnis $1:1,02 \pm 0,01$).

Anwendungsbedeutung

Während des Sinterprozesses müssen die Atmosphäre ($\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) und der Kohlenstoffgehalt (freier Kohlenstoff $< 0,1\% \pm 0,01\%$) streng kontrolliert werden, um Leistungseinbußen zu vermeiden.

(5) Chemische Bindungseigenschaften von Wolframcarbidpulver

Bindungstyp: Die WC-Bindung in WC ist eine kovalent-ionisch-metallische Mischbindung mit einer Bindungsenergie von $\sim 8,6 \text{ eV} \pm 0,1 \text{ eV}$.

Bindungslänge: Die WC-Bindungslänge beträgt $0,219 \text{ nm} \pm 0,001 \text{ nm}$, was eine hohe Bindungsstärke und chemische Stabilität ergibt.

Elektronische Struktur: Die 5d-Orbitale von W und die 2p-Orbitale von C hybridisieren und bilden starke kovalente Bindungen mit einer Elektronendichte von $\sim 0,8 \text{ e}/\text{\AA}^3 \pm 0,05 \text{ e}/\text{\AA}^3$ (DFT-Berechnung), was zu hoher Härte und Korrosionsbeständigkeit führt.

Anwendungsbedeutung: Die starken Bindungseigenschaften gewährleisten die Stabilität von WC in extremen chemischen Umgebungen und eignen sich für hochkorrosionsbeständige Werkzeuge (wie z. B. chemische Formen).

(6) Chemische Oberflächenaktivität von Wolframcarbidpulver

Oberflächenenergie: Die Oberflächenenergie von WC-Pulver beträgt $1,5-2,0 \text{ J/m}^2 \pm 0,2 \text{ J/m}^2$ (berechnet nach der BET-Methode) und steigt mit abnehmender Partikelgröße an.

Submikron-Ebene ($0,1-0,5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,01 \text{ }\mu\text{m}$): Oberflächenenergie $\sim 2,0 \text{ J/m}^2 \pm 0,2 \text{ J/m}^2$.

Mikrometerebene ($1-5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,01 \text{ }\mu\text{m}$): Oberflächenenergie $\sim 1,5 \text{ J/m}^2 \pm 0,2 \text{ J/m}^2$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Adsorption: Die Adsorption von WC-Pulver für O₂ und H₂O beträgt <0,01 mg/g±0,002 mg/g (25 °C, 50 % relative Luftfeuchtigkeit), was auf eine geringe Oberflächenaktivität hindeutet .

Bedeutung für die Anwendung: Eine geringe Oberflächenaktivität verringert die Oxidation des Pulvers während der Lagerung und Verarbeitung (Oxid <0,05 % ± 0,01 %), allerdings sind Additive (wie VC, 0,1 % – 0,5 % ± 0,01 %) erforderlich, um die Oberflächenenergie zu verringern und so das Kornwachstum zu kontrollieren.

(7) Weitere chemische Eigenschaften von Wolframcarbidpulver

Volatilität

WC weist bei <2000 °C ± 10 °C keine erkennbare Flüchtigkeit auf (Flüchtigkeitsrate <0,001 % ± 0,0002 %/h) und beginnt bei >2500 °C ± 10 °C, sich zu zersetzen und CO- und W-Dampf zu verflüchtigen.

Löslichkeit

Unlöslich in Wasser (Löslichkeit <0,001 g/l ± 0,0002 g/l) und den meisten organischen Lösungsmitteln (wie Ethanol, Aceton), mit einer Löslichkeit von <0,002 g/l ± 0,0005 g/l.

Toxizität

WC-Pulver ist ungiftig (LD50 > 5000 mg/kg), aber das Einatmen feiner Partikel (<0,5 µm±0,01 µm) kann zu Lungenreizungen führen und es sollte Schutzausrüstung getragen werden.

Umfassende Wirkung und Anwendungszusammenhang

Chemische Stabilität und Korrosionsbeständigkeit

Die hohe Stabilität unterstützt die Anwendung von WC in sauren und alkalischen Umgebungen, beispielsweise als Dichtungen für chemische Geräte (Lebensdauer > 5000 Stunden ± 500 Stunden).

Oxidation und Reaktivität

Die Oxidation bei hohen Temperaturen und die Bildung der η-Phase müssen kontrolliert werden. Es eignet sich für die Verarbeitung bei hohen Temperaturen (> 1000 °C ± 10 °C) unter inerter Atmosphäre, wie beispielsweise bei Werkzeugen für die Luftfahrt.

Chemische Bindungen und Oberflächenaktivität

Starke Bindungen und geringe Oberflächenaktivität gewährleisten eine langfristige Lagerstabilität (Oxide <0,05 % ± 0,01 %) und eignen sich für verschleißfeste Beschichtungen (Bindungsfestigkeit >70 MPa ± 5 MPa).

Anpassungsfähigkeit an die Umwelt

Die geringe Löslichkeit und Flüchtigkeit unterstützen die Zuverlässigkeit von WC unter verschiedenen Arbeitsbedingungen, beispielsweise bei Bohrmeißeln im Bergbau (Lebensdauer > 1000 m ± 100 m).

Erkennung und Kontrolle von Wolframcarbidpulver

Messmethoden: Korrosionsrate (GB/T 4335-2013), Oxidationsrate (GB/T 5124-2017 Chemische Analyseverfahren), Oberflächenenergie (BET, GB/T 19587-2017), Flüchtigkeit (TG-DSC, GB/T 17137-1997).

Kontrollstandards: freier Kohlenstoff <0,1 % ± 0,01 %, Oxid <0,05 % ± 0,01 %, Atmosphärenkontrolle (O₂ < 10 ppm ± 1 ppm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die chemischen Eigenschaften von Wolframkarbidpulver umfassen eine hohe chemische Stabilität (Korrosionsrate $<0,001 \text{ mm/Jahr} \pm 0,0002 \text{ mm/Jahr}$), hervorragende Korrosionsbeständigkeit (pH 2 – 12), Oxidationsbeständigkeit ($<600 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ Oxidationsrate $<0,01 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h} \pm 0,002 \text{ mg/cm}^2 \cdot \text{h}$), begrenzte Reaktivität (Notwendigkeit der Kontrolle der Bildung von η -Phase und W_2C), starke WC-Bindung (Bindungsenergie $\sim 8,6 \text{ eV} \pm 0,1 \text{ eV}$), geringe Oberflächenaktivität (Oberflächenenergie $1,5 - 2,0 \text{ J/m}^2 \pm 0,2 \text{ J/m}^2$) sowie geringe Flüchtigkeit und Löslichkeit. Diese Eigenschaften sorgen für eine gute Leistung in chemischen Geräten, verschleißfesten Beschichtungen, Flugzeugwerkzeugen und Bergbaubohrern, und die Optimierung der chemischen Eigenschaften garantiert die Hochleistungsanwendung von Hartmetall.

Herstellung und Aufbereitung von Wolframkarbidpulver - Aufkohlungsverfahren (1450-1600°C)

Verfahrensprinzip

Die Aufkohlungsmethode ist die in der Industrie am häufigsten verwendete Herstellungsmethode. Dabei wird WC durch die Hochtemperaturreaktion von Wolframpulver (W) und Ruß (C) erzeugt. Die Reaktionsformel lautet: $\text{W} + \text{C} \rightarrow \text{WC}$

Die Reaktion wird bei hohen Temperaturen von $1450 \text{ bis } 1600 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ durchgeführt, üblicherweise in Wasserstoff (H_2) oder einer Vakuumatmosphäre. Thermodynamisch ist die Gibbs-Freie-Energie der Reaktion negativ ($\Delta G < -38 \text{ kJ/mol} \pm 2 \text{ kJ/mol}$), was die spontane Reaktion sicherstellt. Kinetisch gesehen gelangen Kohlenstoffatome durch Festkörperdiffusion (Diffusionskoeffizient $\sim 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s}$) in das Wolframgitter und bilden nach und nach WC-Körner.

Prozessparameter:

Rohstoff:

Wolframpulver: Reinheit $> 99,9 \text{ } \% \pm 0,01 \text{ } \%$, Partikelgröße $0,5 - 5 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$.

Ruß: Reinheit $> 99,5 \text{ } \% \pm 0,01 \text{ } \%$, Partikelgröße $< 0,1 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$.

Reaktionsbedingungen:

Temperatur: $1450 - 1600 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Atmosphäre: Wasserstoff (H_2 , Reinheit $> 99,99 \text{ } \% \pm 0,01 \text{ } \%$, Durchflussrate $50 \text{ l/min} \pm 5 \text{ l/min}$) oder Vakuum ($< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$).

Heizrate: $5 - 10 \text{ }^\circ\text{C/min} \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C/min}$.

Haltezeit: $2 - 4 \text{ Stunden} \pm 0,1 \text{ Stunden}$.

Ausrüstung:

Graphitofen: Leistung $> 100 \text{ kW} \pm 10 \text{ kW}$, Temperaturbeständigkeit $> 1800^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$.

Fester oder rotierender Ofen: Rotationsofengeschwindigkeit $5 \text{ U/min} \pm 0,5 \text{ U/min}$ zur Verbesserung der Mischgleichmäßigkeit.

Prozessoptimierung:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Temperaturauswahl:

1450 °C ± 10 °C: Erzeugt WC im Submikronbereich ($<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), mit einer um $5 \% \pm 1 \%$ erhöhten Härte (HV $> 2900 \pm 50$), geeignet für hochpräzise Werkzeuge.

1600 °C ± 10 °C: Erzeugt grobes WC ($5-10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), erhöht die Ausbeute um $10 \% \pm 2 \%$ ($> 12 \text{ t/Charge} \pm 1 \text{ t}$) und eignet sich für Bohrer mit hoher Zähigkeit.

Ausstattungsverbesserungen:

Der Drehofen verbessert die Gleichmäßigkeit der Partikelgröße (Abweichung $<5 \% \pm 1 \%$) durch dynamisches Mischen und erhöht die Ausbeute um $5 \% \pm 1 \%$, was besser ist als beim Festofen (Agglomerationsrate $> 10 \% \pm 2 \%$).

Atmosphärenkontrolle:

Eine Wasserstoffatmosphäre ($\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) hemmt die Oxidation (Oxide $<0,03 \% \pm 0,01 \%$) und erhöht die Reinheit um $1 \% \pm 0,2 \%$.

Die Vakuumatmosphäre reduziert die Kohlenstoffverflüchtigung (Verlust $<0,1 \% \pm 0,01 \%$) und erhöht die Ausbeute um $2 \% \pm 0,5 \%$.

Analyse der Einflussfaktoren:

Rohstoffverhältnis:

Das W:C-Molverhältnis wird auf $1:1,02 \pm 0,01$ geregelt. Zu viel Kohlenstoff ($> 1,05$) führt zu freiem Kohlenstoff ($> 0,2 \% \pm 0,01 \%$), was die Härte um $3 \% \pm 0,5 \%$ (HV $< 2700 \pm 50$) reduziert; zu wenig Kohlenstoff ($< 0,98$) erzeugt W_2C (Härte HV $< 2000 \pm 50$), und die Biegefestigkeit sinkt um $5 \% \pm 1 \%$ ($< 3800 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$).

Reaktionstemperatur:

Der optimale Bereich liegt bei $1450-1600 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$. Über $1650 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ wird Kornwachstum ($> 10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) induziert, und die Härte nimmt um $5 \% \pm 1 \%$ ab. Unter $1400 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ ist die Reaktion unvollständig (Ausbeute $< 95 \% \pm 1 \%$), und die Reinheit nimmt um $2 \% \pm 0,5 \%$ ab.

Atmosphärenkontrolle:

Eine Wasserstoffatmosphäre ($\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) verhindert wirksam die Oxidation; eine Vakuumatmosphäre verringert die Kohlenstoffverflüchtigung.

Partikelgröße des Rohstoffs:

Wolframpulver $< 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ ergibt WC im Submikronbereich ($< 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) mit einer Härte von HV 3000 ± 50 ; $> 5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ ergibt grobes WC ($5-10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) mit einer Zähigkeitssteigerung von $10 \% \pm 2 \%$ ($K_{1c} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$).

Geräteleistung:

Der rotierende Ofen (Geschwindigkeit $5 \text{ U/min} \pm 0,5 \text{ U/min}$) verringerte die Agglomeration ($< 5 \% \pm 1 \%$), was besser war als beim stationären Ofen (Agglomeration $> 10 \% \pm 2 \%$, Reinheitsreduzierung $1 \% \pm 0,2 \%$).

Technische Anwendungsbeispiele für Wolframcarbidpulver:

Luftfahrtwerkzeuge

Bei $1450 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$, H_2 - Atmosphäre und im Drehofenverfahren wird WC-Pulver mit einer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Körnung von $0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ erzeugt, mit einer Härte von $\text{HV } 2950 \pm 50$ und einem freien Kohlenstoffgehalt von $0,08 \% \pm 0,01 \%$. Es wird zum Schneiden von Ti-6Al-4V-Legierungen ($1000 \text{ }^\circ\text{C}$, Geschwindigkeit $> 200 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$) verwendet, mit einem Verschleißverlust von nur $0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$ und einer Lebensdauer von $12 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$.

Bergbaubohrer

Bei $1600 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ und in einer Vakuumatmosphäre wird WC-Pulver mit einer Größe von $5\text{--}10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ erzeugt, mit einer Zähigkeit $K_{1c} > 20 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$ und einer Lebensdauer beim Bohren in hartem Gestein (Druckfestigkeit $> 200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$) von $> 1000 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

Verschleißfeste Form

$1\text{--}3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ WC-Pulver, ausgewogene Härte und Zähigkeit, Kaltstauchform ($> 10^5\text{-mal} \pm 10^4\text{-mal}$), Verformung $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

4.1.2 Andere Zubereitungsmethoden

Plasmamethode:

Prinzip: Durch die Verwendung von Plasma mit hoher Temperatur ($> 5000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 100 \text{ }^\circ\text{C}$) wird Wolframpulver mit Methan (CH_4) zur Reaktion gebracht, um WC zu erzeugen.

Prozessparameter:

Plasmaleistung: $50\text{--}100 \text{ kW} \pm 10 \text{ kW}$.

Atmosphäre: Argon (Ar, Reinheit $> 99,99 \% \pm 0,01 \%$).

Abkühlrate: $> 100^\circ\text{C/s} \pm 10^\circ\text{C/s}$.

Vorteile: Erzeugt ultrafeines WC ($0,1\text{--}0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) mit hoher Reinheit (freier Kohlenstoff $< 0,05 \% \pm 0,01 \%$), geeignet für High-End-Anwendungen.

Anwendung: Superharte Werkzeuge (z. B. PCB-Bohrer, Lochdurchmesser $< 0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$).

Mechanochemische Methode:

Prinzip: Wolframpulver und Ruß werden mechanisch reagiert, um WC durch Hochenergie-Kugelmahlen (Rotationsgeschwindigkeit $300\text{--}500 \text{ U/min} \pm 10 \text{ U/min}$) zu erzeugen.

Prozessparameter:

Kugelmahlzeit: $20\text{--}50 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$.

Kugel-Material-Verhältnis: 10:1 bis $20:1 \pm 0,1$.

Vorteile: Kann WC im Nanomaßstab ($< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) erzeugen, Härte $\text{HV } > 3100 \pm 50$.

Anwendung: Nanobeschichtung (z. B. Flugzeug-Rotorblatt-Sprühverfahren, Bindungsstärke $> 80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$).

Chemische Gasphasenabscheidung (CVD):

Prinzip: WC wird durch die Reaktion von WF_6 und CH_4 bei $800\text{--}1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ abgeschieden.

Prozessparameter:

Abscheidungsrate: $0,1\text{--}0,5 \mu\text{m}/\text{min} \pm 0,01 \mu\text{m}/\text{min}$.

Atmosphäre: H_2/Ar -Mischgas.

Vorteile: Hohe Reinheit (freier Kohlenstoff $< 0,03 \% \pm 0,01 \%$), geeignet zum Beschichten.

Anwendung: Verschleißfeste Beschichtung (Flugzeugturbinenschaufeln, Lebensdauer > 5000

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Stunden ± 500 Stunden).

4.1.3 Partikelgröße von Wolframcarbidpulver

Wolframcarbidpulver (WC) ist das Kernmaterial von Hartmetall. Seine PartikelgröÙeneigenschaften beeinflussen direkt die Leistung und Anwendungseffekte von Hartmetall. Nachfolgend finden Sie eine umfassende Analyse der Bedeutung, Reichweite, Verteilung, Leistungsauswirkungen, Qualitätskontrolltechnologie und Nachweismethoden der PartikelgröÙe, basierend auf wissenschaftlichen Daten und Industriestandards (wie GB/T 19077.1-2008).
Aktuelles Datum und Uhrzeit : 22. Mai 2025, 14:20 Uhr HKT.

(1) Die Bedeutung der PartikelgröÙe von Wolframcarbidpulver

Leistungsbestimmung: Die PartikelgröÙe des WC-Pulvers ist ein wichtiger Parameter, der die Leistung von Hartmetall beeinflusst und direkt Härte, Verschleißfestigkeit, Zähigkeit und Sinterverhalten bestimmt.

Feine PartikelgröÙe ($< 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) verbessert die Härte ($\text{HV} > 3000 \pm 50$) und Verschleißfestigkeit, geeignet für hochpräzise Bearbeitung.

Grobe PartikelgröÙe ($5-10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) verbessert die Zähigkeit ($K_{1c} > 20 \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) und ist für Szenarien mit hoher Aufprallkraft geeignet.

Verarbeitungsanpassung: Die PartikelgröÙe beeinflusst die Fließfähigkeit ($< 30 \text{s}/50 \text{g} \pm 2 \text{s}$, GB/T 1482-2010) und das Pressverhalten des Pulvers. Feinkörniges WC eignet sich für die additive Fertigung (Oberflächenrauheit $R_a < 5 \mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$), grobkörniges WC für das traditionelle Sintern.

Sinterleistung: Eine gleichmäßige PartikelgröÙenverteilung (Abweichung $< 5\% \pm 1\%$) gewährleistet eine Sinterdichte ($> 99\% \pm 0,1\%$), reduziert die Porosität ($< 0,05\% \pm 0,01\%$) und verbessert die Gesamtfestigkeit.

Anwendungsanpassung: Verschiedene Anwendungen erfordern die Anpassung spezifischer PartikelgröÙen, wie beispielsweise Werkzeuge für die Luftfahrt ($0,1-0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) und Bohrkronen für den Bergbau ($5-10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$).

(2) PartikelgröÙenbereich von Wolframcarbidpulver

Gesamtbereich: Die PartikelgröÙe von WC-Pulver liegt üblicherweise zwischen $0,1-10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$.

Einstufung:

Nanoskala ($< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$): extrem hohe Härte ($\text{HV} > 3100 \pm 50$), wird für die Ultrapräzisionsbearbeitung verwendet.

Submikron-Qualität ($0,1-0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$): Härte $\text{HV} 3000 \pm 50$, geeignet für hochpräzise Werkzeuge.

Mikronqualität ($1-5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$): Härte $\text{HV} 2500-2800 \pm 50$, Zähigkeit $K_{1c} 15-20 \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, geeignet für den Formenbau.

Grobe Körnung ($5-10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$): Zähigkeit $K_{1c} > 20 \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, geeignet für Bohrkronen im Bergbau.

Einfluss der Herstellung: Der PartikelgröÙenbereich wird durch den Herstellungsprozess bestimmt,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

beispielsweise erzeugt die Karbonisierung (1450–1600 °C ± 10 °C) 0,5–10 µm ± 0,01 µm und die mechanochemische Methode erzeugt <0,1 µm ± 0,01 µm .

(3) Partikelgrößenverteilung und Qualität von Wolframcarbidpulver

Verteilungseigenschaften:

Zur Messung von D10, D50 und D90 wurde eine Laserpartikelgrößenanalyse (GB/T 19077.1-2008) verwendet.

Submikron-Ebene: D50 = 0,3 µm ± 0,01 µm , D10 = 0,1 µm ± 0,01 µm , D90 = 0,5 µm ± 0,01 µm .

Mikronebene: D50 = 3 µm ± 0,01 µm , D10 = 1 µm ± 0,01 µm , D90 = 5 µm ± 0,01 µm .

Grobkörnigkeit: D50=8 µm±0,01 µm , D10 =5 µm±0,01 µm , D90 =10 µm±0,01 µm .

Vor- und Nachteile-Bewertung:

Vorteile: enge Verteilung (Abweichung <5 % ± 1 %), gleichmäßige Partikel, hohe Dichte nach dem Sintern (> 99 % ± 0,1 %) und gute Leistungskonsistenz.

Nachteile: breite Verteilung (Abweichung > 10 % ± 2 %), ungleichmäßige Partikel, erhöhte Porosität nach dem Sintern (> 0,1 % ± 0,02 %), große Leistungsschwankungen (z. B. Härteabweichung > 100 HV).

des Rohmaterials (Wolframpulver <0,5 µm±0,01 µm) , Reaktionszeit (2-4 Stunden±0,1 Stunden), Abkühlrate (>50°C/min±5°C/min).

(4) Einfluss der Wolframcarbidpulvergröße auf die Leistung von Hartmetall

Härte: Je kleiner die Partikelgröße, desto höher die Härte. Submikron-WC (<0,5 µm±0,01 µm) hat eine Härte von HV >3000±50, was für superharte Werkzeuge geeignet ist (Schnittgeschwindigkeit >300 m/min±10 m/min).

Zähigkeit: Je größer die Partikelgröße, desto besser die Zähigkeit. Grobes WC (5–10 µm ± 0,01 µm) hat eine Zähigkeit von $K_{1c} > 20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$ und ist für Bohrkronen im Bergbau geeignet (Druckfestigkeit > 200 MPa ± 10 MPa).

Verschleißfestigkeit: Feinkörniges WC verbessert die Verschleißfestigkeit, Verschleiß bei Luftfahrtwerkzeugen (0,3 µm ± 0,01 µm) < 0,08 mm ± 0,02 mm, Lebensdauer > 15 Stunden ± 1 Stunde.

Sinterleistung: gleichmäßige Verteilung (Abweichung <5 % ± 1 %), reduzierte Porosität (<0,05 % ± 0,01 %) und verbesserte Biegefestigkeit (> 3800 MPa ± 100 MPa).

Verarbeitungsleistung: Feinkörniges WC verbessert die Gleichmäßigkeit der Pulververteilung (Fließfähigkeit <30 s/50 g±2 s) und eignet sich für den 3D-Druck (Zugfestigkeit >800 MPa±50 MPa).

Beispiel: 0,5 µm±0,01 µm WC-Pulver (Verteilungsabweichung <3%±0,5%) wird für PCB-Bohrer verwendet, mit einer Lebensdauer von >10⁵ Löchern±10⁴ Löchern; 8 µm±0,01 µm WC-Pulver wird für PDC-Bohrer verwendet, mit einer Bohrgeschwindigkeit von >5 m/h±0,5 m/h.

(5) Qualitätskontrolltechnologie für die Partikelgröße von Wolframcarbidpulver

Kontrolle des Rohmaterials: Wolframpulverpartikel mit einer Größe von <0,5 µm±0,01 µm erzeugen 0,1–0,5 µm±0,01 µm WC, und die Ostwald-Reifung (Wachstumsrate ~10⁻⁹ m/s±10⁻¹⁰ m/s) wird gehemmt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Reaktionszeit: 2 Stunden \pm 0,1 Stunden ($1450\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) zur Erzeugung von feinem WC ($<0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$); 4 Stunden \pm 0,1 Stunden ($1600\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) zur Erzeugung von grobem WC ($5\text{--}10\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$).

Abkühlrate: Schnelles Abkühlen ($>50^{\circ}\text{C}/\text{min} \pm 5^{\circ}\text{C}/\text{min}$) hemmt das Kornwachstum ($<0,01\text{ }\mu\text{m}/\text{min} \pm 0,001\text{ }\mu\text{m}/\text{min}$), mit einer Abweichung von $<3\% \pm 0,5\%$.

Additive: Vanadiumcarbid (VC, $0,1\% \text{--} 0,5\% \pm 0,01\%$) reduziert die Oberflächenenergie ($<1\text{ J}/\text{m}^2 \pm 0,1\text{ J}/\text{m}^2$) und verringert die Partikelgröße um $10\% \pm 2\%$; Chromcarbid (Cr_3C_2 , $0,5\% \pm 0,01\%$) hemmt die Diffusion (Koeffizient $<10^{-11}\text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-12}\text{ cm}^2/\text{s}$), mit einer Abweichung von $<2\% \pm 0,5\%$.

Geräteoptimierung: Drehrohren (Geschwindigkeit $5\text{ U}/\text{min} \pm 0,5\text{ U}/\text{min}$) dynamisches Mischen, verbesserte Gleichmäßigkeit der Partikelgröße (Abweichung $<5\% \pm 1\%$).

Nachbehandlung: Sieben (Porengröße $<10\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) zum Entfernen von Agglomeraten ($<5\% \pm 1\%$); Luftstromklassifizierung (GB/T 19077.1-2008) zum Anpassen der Verteilung mit einer Abweichung von $<2\% \pm 0,5\%$.

(6) Methode zur Bestimmung der Partikelgröße von Wolframcarbidpulver

Laserpartikelgrößenanalyse: Gemäß GB/T 19077.1-2008 wird ein Laserdiffraktometer zur Messung von D10, D50 und D90 mit einer Abweichung von $<5\% \pm 1\%$ verwendet.

Rasterelektronenmikroskopie (REM): Beobachten Sie gemäß GB/T 16594-2008 die Partikelmorphologie (polygonal, Kanten $<0,05\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) und Agglomeration ($<5\% \pm 1\%$).

Sedimentationsmethode: Gemäß GB/T 14634.2-2010 wird die Sedimentationsgeschwindigkeit gemessen und die Partikelgrößenverteilung geschätzt. Es ist für grobe Partikel ($>5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) geeignet.

Methode der spezifischen Oberfläche: Gemäß GB/T 19587-2017 (BET-Methode) wird die durchschnittliche Partikelgröße berechnet. Die spezifische Oberfläche im Submikronbereich beträgt $>3\text{ m}^2/\text{g} \pm 0,2\text{ m}^2/\text{g}$.

Online-Überwachung: Während des Produktionsprozesses wird ein Online-Partikelgrößenanalysator mit Laser verwendet, um die Verteilung in Echtzeit zu kontrollieren (Abweichung $<3\% \pm 0,5\%$).

Umfassende Wirkung und Anwendungszusammenhang

Leistungsoptimierung: Feinkörniges WC ($0,1\text{--}0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) verbessert die Härte und Verschleißfestigkeit und ist für Werkzeuge in der Luftfahrt geeignet (Lebensdauer $>15\text{ Stunden} \pm 1\text{ Stunde}$). Grobkörniges WC ($5\text{--}10\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) verbessert die Zähigkeit und ist für Bohrkronen im Bergbau geeignet (Lebensdauer $>1000\text{ m} \pm 100\text{ m}$).

Effiziente Qualitätskontrolle: Drehofen und Additive (VC, Cr_3C_2) gewährleisten eine gleichmäßige Verteilung (Abweichung $<5\% \pm 1\%$) und verbessern die Sinterkonsistenz (Dichte $>99\% \pm 0,1\%$).

Zuverlässigkeit der Erkennung: Die Kombination aus Laserpartikelgrößenanalyse und SEM liefert genaue Verteilungs- und Morphologiedaten zur Optimierung der Prozessparameter.

Die Partikelgrößeneigenschaften von Wolframcarbidpulver sind entscheidend für die Leistung von Hartmetall. Der Partikelgrößenbereich ($0,1\text{--}10\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) reicht vom Nanometer- bis zum Grobkornbereich, und die gleichmäßige Verteilung (Abweichung $<5\% \pm 1\%$) gewährleistet eine gleichbleibende Leistung. Feine Partikel erhöhen die Härte, grobe Partikel die Zähigkeit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Qualitätskontrolltechnologie (Rohstoffkontrolle, Additive, Drehrohrofen) und Detektionsmethoden (Laserpartikelgrößenanalyse, REM) gewährleisten eine präzise Partikelgröße. Die optimierte Partikelgröße von Wolframkarbidpulver bietet leistungsstarke Unterstützung für Luftfahrtwerkzeuge, Bergbaubohrer, verschleißfeste Formen und andere Anwendungen.

4.1.4 Reinheit von Wolframkarbidpulver

Die Reinheit von Wolframkarbidpulver (WC) ist der wichtigste Indikator für die Qualitätskontrolle und beeinflusst direkt die Leistung, Verarbeitbarkeit und Lebensdauer von Hartmetall. Im Folgenden finden Sie eine umfassende Analyse der Definition von Reinheit, Hauptverunreinigungen, Einflussfaktoren, Optimierungsstrategien, Nachweismethoden und Anwendungseffekte basierend auf wissenschaftlichen Daten und Industriestandards (wie GB/T 5124-2017).
Aktuelles Datum und Uhrzeit: 22. Mai 2025, 14:23 Uhr HKT.

(1) Definition und Index der Reinheit von Wolframkarbidpulver

Definition: Die Reinheit von WC-Pulver bezieht sich auf den Gehalt seines Hauptbestandteils WC, und der Gesamtverunreinigungsgehalt (freier Kohlenstoff, Oxide, Metallverunreinigungen usw.) muss normalerweise so gering wie möglich sein.

Schlüsselkennzahlen:

Freier Kohlenstoff: $<0,1 \% \pm 0,01 \%$. Ein zu hoher Wert verringert die Härte ($HV < 2800 \pm 50$) und die Sinterdichte ($<99 \% \pm 0,1 \%$).

Oxid (wie WO_3): $<0,05 \pm 0,01 \%$. Ein zu hoher Wert führt zu erhöhter Porosität ($>0,1 \pm 0,02 \%$).

Metallverunreinigungen (wie Fe, Cr): $<0,02 \% \pm 0,005 \%$, um die Leistung des Hartmetalls nicht zu beeinträchtigen.

Reinheit der WC-Phase: $>99,8 \% \pm 0,02 \%$, wodurch sichergestellt wird, dass kein W_2C oder andere sekundäre Phasen vorhanden sind (geringe Härte, $HV < 2000 \pm 50$).

(2) Hauptverunreinigungen im Wolframkarbidpulver und ihre Quellen

Freier Kohlenstoff:

(W:C-Molverhältnis $> 1,05 \pm 0,01$) oder unvollständige Reaktion (Temperatur $< 1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$) während der Karbonisierungsvorbereitung.

Auswirkungen: Bei einem freien Kohlenstoffgehalt von $> 0,2 \% \pm 0,01 \%$ verringert sich die Härte um $3 \% \pm 0,5 \%$ ($HV < 2700 \pm 50$) und die Porosität nimmt nach dem Sintern zu ($> 0,2 \% \pm 0,02 \%$).

Oxid:

Quelle: Oxidation der Rohstoffe (Wolframpulver enthält $O > 0,1 \% \pm 0,01 \%$) oder hoher Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre während des Herstellungsprozesses ($O_2 > 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$).

Auswirkungen: Bei einem Oxidgehalt von $> 0,05 \% \pm 0,01 \%$ nimmt die Porosität nach dem Sintern zu ($> 0,1 \% \pm 0,02 \%$) und die Festigkeit nimmt um $5 \% \pm 1 \%$ ab (Biegefestigkeit $< 3800 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$).

Metallverunreinigungen:

Quelle: Geräteverschleiß (z. B. durch die Kugelmühle eingetragenes Fe, $> 0,1 \% \pm 0,01 \%$) oder verunreinigte Rohstoffe (Cr, Mo usw.).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Auswirkungen: Wenn Fe $>0,02\% \pm 0,005\%$, verringert sich die Härte um $2\% \pm 0,5\%$ und die Korrosionsbeständigkeit nimmt ab (Korrosionsrate $>0,002\text{ mm/Jahr} \pm 0,0005\text{ mm/Jahr}$).

(3) Einfluss der Reinheit des Wolframkarbidpulvers auf die Leistungsfähigkeit von Hartmetall

Härte und Verschleißfestigkeit: Hohe Reinheit (freier Kohlenstoff $<0,1\% \pm 0,01\%$) gewährleistet Härte HV $>2900 \pm 50$, Verschleiß von Luftfahrtwerkzeugen $<0,08\text{ mm} \pm 0,02\text{ mm}$, Lebensdauer >15 Stunden ± 1 Stunde.

Zähigkeit: Oxid $<0,03\% \pm 0,01\%$. Reduzierte Porosität, Zähigkeit $K_{Ic} > 18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, Lebensdauer des Bergbaubohrers $> 1200\text{ m} \pm 100\text{ m}$.

Sinterleistung: hohe Reinheit (WC-Phase $>99,8\% \pm 0,02\%$), verbesserte Dichte ($>99\% \pm 0,1\%$), Druckfestigkeit $> 4000\text{ MPa} \pm 100\text{ MPa}$.

Korrosionsbeständigkeit: Metallverunreinigungen $<0,02\% \pm 0,005\%$ gewährleisten Korrosionsbeständigkeit (pH 2–12, Korrosionsrate $<0,001\text{ mm/Jahr} \pm 0,0002\text{ mm/Jahr}$), geeignet für chemische Geräte.

Pulver mit einem freien Kohlenstoffgehalt von $0,07\% \pm 0,01\%$ und einem Oxidgehalt von $<0,02\% \pm 0,005\%$ wird für verschleißfeste Formen verwendet und seine Lebensdauer beträgt $>10^6$ -mal $\pm 10^5$ -mal, was besser ist als WC mit einem freien Kohlenstoffgehalt von $0,2\% \pm 0,01\%$ (Lebensdauer $<8 \times 10^5$ -mal $\pm 10^5$ -mal).

(4) Strategie zur Optimierung der Reinheit von Wolframkarbidpulver

Rohstoffkontrolle:

Reinheit des Wolframpulvers $>99,9\% \pm 0,01\%$, enthält O $<0,05\% \pm 0,01\%$; Rußreinheit $>99,5\% \pm 0,01\%$, enthält O $<0,03\% \pm 0,01\%$.

Wirkung: Reduzierung der Ausgangsoxide und der fertigen Oxide um $0,02\% \pm 0,005\%$.

Kontrolle des Kohlenstoffgehalts:

Das W:C-Molverhältnis beträgt $1:1,01 \pm 0,01$, wodurch eine vollständige Reaktion gewährleistet wird, der freie Kohlenstoff auf $0,08\% \pm 0,01\%$ reduziert wird und die Härte um $2\% \pm 0,5\%$ erhöht wird.

Überschüssiger Kohlenstoff ($>1,05$) erzeugt Graphit ($>0,3\% \pm 0,01\%$), während unzureichender Kohlenstoff ($<0,98$) W_2C erzeugt.

Atmosphärenkontrolle:

Wasserstoffatmosphäre (H_2 , $\text{O}_2 < 10\text{ ppm} \pm 1\text{ ppm}$): Reduktion von WO_3 (Reduktionsrate $>99\% \pm 1\%$), Oxid $<0,03\% \pm 0,01\%$.

Vakuumatmosphäre ($<10^{-2}\text{ Pa} \pm 10^{-3}\text{ Pa}$): verhindert die Kohlenstoffverflüchtigung und erhöht die Reinheit um $1\% \pm 0,2\%$.

Nachbearbeitung:

Sieben (Porengröße $<10\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$): Agglomerate entfernen ($<5\% \pm 1\%$) und Reinheit um $0,5\% \pm 0,1\%$ erhöhen.

Beizen (HCl, pH $2 \pm 0,1$): Fe entfernen ($<0,01\% \pm 0,002\%$), Härte um $1\% \pm 0,2\%$ erhöhen.

Ausstattungsverbesserungen:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verwenden Sie einen hochreinen Graphitofen (mit C <0,01 % ± 0,002 %), um die Kohlenstoffverschmutzung zu reduzieren.

Der Drehofen (Geschwindigkeit 5 U/min ± 0,5 U/min) verbesserte die Gleichmäßigkeit der Reaktion und reduzierte den freien Kohlenstoff um 0,02 % ± 0,005 %.

(5) Nachweisverfahren

Erkennung von freiem Kohlenstoff: Gemäß der chemischen Analysemethode GB/T 5124-2017 wird der CO₂-Gehalt nach der Hochtemperaturverbrennung mit einer Genauigkeit von ±0,005 % gemessen.

Der α -Gehalt wird durch Säureauflösung und Titration mit einer Genauigkeit von ±0,002 % bestimmt.

Erkennung von Metallverunreinigungen: ICP-MS (GB/T 13748.20-2009), Erkennung von Fe, Cr usw., Nachweisgrenze <0,001 %.

Phasenreinheitsanalyse: Röntgenbeugung (XRD, GB/T 27708-2011) zur Bestätigung der Reinheit der WC-Phase und zum Ausschluss der W₂C- oder Graphitphase.

Online-Überwachung: Während des Produktionsprozesses werden Infrarot-Gasanalytoren verwendet, um die CO₂-Emissionen in Echtzeit zu überwachen und den freien Kohlenstoff (<0,1 % ± 0,01 %) zu kontrollieren.

Umfassende Wirkung und Anwendungszusammenhang

Verbesserte Leistung: Hohe Reinheit (freier Kohlenstoff <0,1 % ± 0,01 %, Oxid <0,05 % ± 0,01 %) gewährleistet hohe Härte (HV > 2900 ± 50) und Zähigkeit (K_{1c} > 18 MPa·m^{1/2} ± 0,5) des Hartmetalls.

Prozessoptimierung: Durch Atmosphärenkontrolle und Nachbehandlung (z. B. Beizen) werden Verunreinigungen deutlich reduziert, geeignet für High-End-Anwendungen (Werkzeuge für die Luft- und Raumfahrt, Bohrer für den Bergbau).

Zuverlässigkeit der Erkennung: Durch die Kombination von chemischer Analyse und XRD werden genaue Reinheitsdaten sichergestellt und Produktionsprozesse optimiert.

Zusammenfassen

Die Reinheit von Wolframkarbidpulver basiert auf freien Kohlenstoffwerten <0,1 % ± 0,01 %, Oxidwerten <0,05 % ± 0,01 % und Metallverunreinigungen <0,02 % ± 0,005 % als Schlüsselindikatoren, die sich direkt auf Härte, Zähigkeit, Sinterverhalten und Korrosionsbeständigkeit von Hartmetall auswirken. Die Reinheit kann durch Rohstoffkontrolle, präzises Kohlenstoffverhältnis, Atmosphärenoptimierung und Nachbearbeitungstechnologie effektiv verbessert werden. Die Nachweismethode (chemische Analyse, XRD) gewährleistet eine stabile Qualität. Hochreines Wolframkarbidpulver bietet hervorragende Leistung für Luftfahrtwerkzeuge, verschleißfeste Formen und andere Anwendungen.

4.1.5 Kohlenstoffgehalt von Wolframkarbidpulver

Der Kohlenstoffgehalt von Wolframkarbidpulver ist ein wichtiger Parameter bei seiner Herstellung und Leistungsoptimierung, der sich direkt auf seine chemische Stabilität, Härte und sein Sinterverhalten auswirkt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(1) Definition und Index des Kohlenstoffgehalts in Wolframcarbidpulver

Definition: Der Kohlenstoffgehalt bezieht sich auf den Gesamtkohlenstoffgehalt im WC-Pulver, einschließlich gebundenem Kohlenstoff (Kohlenstoff, der WC bildet) und freiem Kohlenstoff (nicht umgesetzter Kohlenstoff). Der theoretische Kohlenstoffgehalt von idealem WC beträgt $6,13 \% \pm 0,01 \%$ (Molverhältnis W:C = 1:1).

Wichtige Indikatoren für den Kohlenstoffgehalt in Wolframcarbidpulver:

Gesamtkohlenstoffgehalt : $6,0 \% - 6,2 \% \pm 0,01 \%$, einschließlich gebundenem und freiem Kohlenstoff.

Freier Kohlenstoff: $<0,1 \% \pm 0,01 \%$. Ein zu hoher Wert verringert Härte und Dichte.

Gebundener Kohlenstoff: $5,9 \% - 6,1 \% \pm 0,01 \%$, was den Grad der Bildung der WC-Phase widerspiegelt.

(2) Bereich des Kohlenstoffgehalts in Wolframcarbidpulver

Der Kohlenstoff-Massenanteil entsprechend der WC-Molekülformel beträgt $6,13 \% \pm 0,01 \%$, das heißt, 1 Mol W (183,84 g) ist mit 1 Mol C (12,01 g) verbunden.

Tatsächliche Reichweite:

Niedriger Kohlenstoffzustand ($5,9 \% - 6,0 \% \pm 0,01 \%$): W_2C (Kohlenstoffgehalt $3,16 \% \pm 0,01 \%$) oder W-Phase kann erzeugt werden und die Härte nimmt ab ($HV < 2000 \pm 50$).

Normalbereich ($6,0 \% - 6,2 \% \pm 0,01 \%$): nahe am theoretischen Wert, geeignet für Hochleistungshartmetall.

Hoher Kohlenstoffgehalt ($>6,2 \% \pm 0,01 \%$): freier Kohlenstoff nimmt zu ($>0,2 \% \pm 0,01 \%$), Härte nimmt ab ($HV < 2700 \pm 50$) und Porosität nimmt zu ($>0,2 \% \pm 0,02 \%$).

Einfluss der Vorbereitung: Durch die Karbonisierungsmethode ($1450-1600 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$) wird das W:C-Molverhältnis auf $1:1,01 \pm 0,01$ geregelt, um einen stabilen Kohlenstoffgehalt sicherzustellen.

(3) Einfluss des Kohlenstoffgehalts von Wolframcarbidpulver auf die Leistung von Hartmetall

Härte und Verschleißfestigkeit: Kohlenstoffgehalt $6,0 \% - 6,2 \% \pm 0,01 \%$ gewährleistet Härte $HV > 2900 \pm 50$, Verschleiß von Luftfahrtwerkzeugen $< 0,08 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, Lebensdauer $> 15 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$.

Zähigkeit: Niedriger Kohlenstoffgehalt ($<5,9 \% \pm 0,01 \%$) erzeugt W_2C und die Zähigkeit nimmt ab ($K_{Ic} < 10 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$); hoher Kohlenstoffgehalt ($>6,2 \% \pm 0,01 \%$) freier Kohlenstoff verringert die Beständigkeit der Zähigkeit.

Sintereigenschaften: Kohlenstoffgehalt $6,1 \% \pm 0,01 \%$ optimiert Sinterdichte ($> 99 \% \pm 0,1 \%$), Druckfestigkeit $> 4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$; freier Kohlenstoff $> 0,1 \% \pm 0,01 \%$ führt zu erhöhter Porosität ($> 0,1 \% \pm 0,02 \%$).

Korrosionsbeständigkeit: Freier Kohlenstoff $<0,1 \% \pm 0,01 \%$. Erhält die Korrosionsbeständigkeit (pH 2–12, Korrosionsrate $<0,001 \text{ mm/Jahr} \pm 0,0002 \text{ mm/Jahr}$).

Pulver mit einem Kohlenstoffgehalt von $6,08 \% \pm 0,01 \%$ (freier Kohlenstoff $0,07 \% \pm 0,01 \%$) wird für verschleißfeste Formen verwendet und seine Lebensdauer beträgt $>10^6$ -mal $\pm 10^5$ -mal, was besser ist als WC mit einem Kohlenstoffgehalt von $6,25 \% \pm 0,01 \%$ (freier Kohlenstoff $0,2 \% \pm$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,01 %) (Lebensdauer $<8 \times 10^5$ -mal $\pm 10^5$ -mal).

(4) Optimierungsstrategie des Kohlenstoffgehalts in Wolframcarbidpulver

Rohstoffkontrolle:

Die Reinheit des Rußes beträgt $>99,5 \% \pm 0,01 \%$ und die Partikelgröße beträgt $<0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, wodurch eine gleichmäßige Kohlenstoffverteilung gewährleistet wird.

Wolframpulver enthält O $<0,05 \% \pm 0,01 \%$, was die Oxidationsreaktion reduziert und den Kohlenstoffgehalt beeinträchtigt.

Kohlenstoffgehaltsverhältnis:

Das W:C-Molverhältnis beträgt $1:1,01 \pm 0,01$, mit leicht überschüssigem Kohlenstoff zum Ausgleich der Verflüchtigung, der gebundene Kohlenstoff erreicht $6,1 \% \pm 0,01 \%$ und der freie Kohlenstoff beträgt $<0,1 \% \pm 0,01 \%$.

Überschüssiger Kohlenstoff ($>1,05$) erzeugt Graphit ($>0,3 \% \pm 0,01 \%$); unzureichender Kohlenstoff ($<0,98$) erzeugt W_2C .

Reaktionsbedingungen:

Temperatur: $1450\text{--}1600 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, Reaktion ist abgeschlossen, Kohlenstoffbindungsrate $> 98 \% \pm 1 \%$.

Atmosphäre: Wasserstoff (H_2 , $\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) oder Vakuum ($<10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$), Reduzierung der Kohlenstoffverflüchtigung (Verlust $<0,1 \% \pm 0,01 \%$).

Isolationszeit: $2\text{--}4$ Stunden $\pm 0,1$ Stunden, um eine ausreichende Karbonisierungsreaktion sicherzustellen.

Nachbearbeitung:

Wärmebehandlung ($800 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, H_2 - Atmosphäre) : Entfernung von freiem Kohlenstoff (Reduktion von $0,05 \% \pm 0,01 \%$).

Säurewäsche (HCl , $\text{pH } 2 \pm 0,1$): Entfernt Verunreinigungen, die durch unvollständige Karbonisierung entstanden sind, und erhöht die Reinheit um $0,5 \% \pm 0,1 \%$.

Geräteoptimierung:

Der Drehofen (Geschwindigkeit $5 \text{ U/min} \pm 0,5 \text{ U/min}$) verbessert die Gleichmäßigkeit der Mischung und die Abweichung der Kohlenstoffverteilung beträgt $< 2 \% \pm 0,5 \%$.

Ein hochreiner Graphitofen (mit C $<0,01 \% \pm 0,002 \%$) reduziert die exogene Kohlenstoffverschmutzung.

(5) Nachweisverfahren für den Kohlenstoffgehalt in Wolframcarbidpulver

Gesamtkohlenstoffgehalt : Gemäß GB/T 5124-2017, Infrarot-Absorptionsmethode zur Hochtemperaturverbrennung, Messung des CO_2 -Gehalts, Genauigkeit $\pm 0,005 \%$.

Gebundener Kohlenstoff: Nach der Hochtemperaturverbrennung wird der freie Kohlenstoff durch Säureauflösung abgetrennt und der verbleibende Kohlenstoff ist gebundener Kohlenstoff mit einer Genauigkeit von $\pm 0,002 \%$.

Freier Kohlenstoff: berechnet durch Differenz (Gesamtkohlenstoff – gebundener Kohlenstoff) oder direkte Verbrennungsmethode, Genauigkeit $\pm 0,005 \%$.

Phasenanalyse: Röntgenbeugung (XRD, GB/T 27708-2011) zur Bestätigung der Reinheit der WC-Phase und Erkennung der W_2C - oder Graphitphase.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Online-Überwachung: Der Infrarot-Gasanalysator überwacht die CO₂-Emissionen in Echtzeit und kontrolliert den freien Kohlenstoff (<0,1 % ± 0,01 %).

Umfassender Einfluss des Kohlenstoffgehalts in Wolframcarbidpulver und dessen Anwendungszusammenhang

Der Kohlenstoffgehalt von 6,0–6,2 % ± 0,01 % (freier Kohlenstoff < 0,1 % ± 0,01 %) gewährleistet eine hohe Härte (HV > 2900 ± 50) und Zähigkeit (K_{1c} > 18 MPa·m^{1/2} ± 0,5) des Hartmetalls.

Prozesseffizienz: Präzises Verhältnis und Atmosphärenkontrolle reduzieren Kohlenstoffabweichungen, geeignet für Luftfahrtwerkzeuge (Lebensdauer > 15 Stunden ± 1 Stunde) und verschleißfeste Formen (> 10⁶-mal ± 10⁵-mal).

Zuverlässigkeit der Erkennung: Die Kombination aus chemischer Analyse und XRD liefert genaue Daten zum Kohlenstoffgehalt und optimiert den Produktionsprozess.

Der Kohlenstoffgehalt von Wolframcarbidpulver liegt im idealen Bereich von 6,0–6,2 % ± 0,01 %, wobei 5,9–6,1 % ± 0,01 % gebundener Kohlenstoff und < 0,1 % ± 0,01 % freier Kohlenstoff enthalten sind. Dies ist entscheidend für Härte, Zähigkeit und Sinterleistung. Der Kohlenstoffgehalt lässt sich durch Rohstoffkontrolle, Optimierung des W:C-Verhältnisses, Anpassung der Reaktionsbedingungen und Nachbearbeitungstechnologie effektiv anpassen. Die Detektionsmethode (Infrarotabsorptionsmethode, XRD) gewährleistet eine stabile Qualität. Wolframcarbidpulver mit entsprechendem Kohlenstoffgehalt bietet leistungsstarke Unterstützung für Luftfahrtwerkzeuge, Bergbaubohrer und andere Anwendungen.

4.1.6 Qualitätskontrolle und Prüfung von Partikelgröße, Reinheit, Kohlenstoffgehalt usw. von Wolframcarbidpulver

Partikelgröße, Reinheit und Kohlenstoffgehalt von Wolframcarbidpulver (WC) sind Schlüsselparameter für die Qualitätskontrolle und bestimmen direkt die Leistung und Anwendungssicherheit von Hartmetall. Nachfolgend finden Sie eine umfassende Analyse der Qualitätskontrolltechnologie, der Nachweismethoden und der umfassenden Auswirkungen, basierend auf wissenschaftlichen Daten und Industriestandards (wie GB/T 19077.1-2008, GB/T 5124-2017).
Aktuelles Datum und Uhrzeit : 22. Mai 2025, 14:32 Uhr HKT.

(1) Qualitätskontrolle und Prüfung der Partikelgröße von Wolframcarbidpulver

Steuerungstechnik:

Kontrolle des Rohmaterials: Wolframpulverpartikel mit einer Größe von < 0,5 μm ± 0,01 μm erzeugen 0,1–0,5 μm ± 0,01 μm WC, und die Ostwald-Reifung (Wachstumsrate ~10⁻⁹ m/s ± 10⁻¹⁰ m/s) wird gehemmt.

Reaktionszeit: 2 Stunden ± 0,1 Stunden (1450 °C ± 10 °C) zur Erzeugung von feinem WC (< 0,5 μm ± 0,01 μm) ; 4 Stunden ± 0,1 Stunden (1600 °C ± 10 °C) zur Erzeugung von grobem WC (5–10 μm ± 0,01 μm) .

Abkühlrate: Schnelles Abkühlen (>50°C/min ± 5°C/min) hemmt das Kornwachstum (< 0,01 μm /min ± 0,001 μm /min), mit einer Abweichung von < 3% ± 0,5%.

Additive: Vanadiumcarbid (VC, 0,1%-0,5% ± 0,01%) reduziert die Oberflächenenergie (< 1 J/m² ± 0,1 J/m²) und verringert die Partikelgröße um 10% ± 2%; Chromcarbid (Cr₃C₂, 0,5 % ± 0,01%)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hemmt die Diffusion (Koeffizient $<10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$), mit einer Abweichung von $<2\% \pm 0,5\%$.

Geräteoptimierung: Drehrohfen (Geschwindigkeit $5 \text{ U/min} \pm 0,5 \text{ U/min}$) verbessert die Gleichmäßigkeit der Mischung und die Abweichung der Partikelgrößenverteilung beträgt $<5\% \pm 1\%$.

Nachbehandlung: Sieben (Porengröße $<10 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) zum Entfernen von Agglomeraten ($<5\% \pm 1\%$); Luftstromklassifizierung (GB/T 19077.1-2008) zum Anpassen der Verteilung mit einer Abweichung von $<2\% \pm 0,5\%$.

Nachweismethode:

Laserpartikelgrößenanalyse: Gemäß GB/T 19077.1-2008 wird ein Laserdiffraktometer verwendet, um D10, D50 und D90 mit einer Abweichung von $<5\% \pm 1\%$ und Submikron $D50 = 0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ zu messen.

Rasterelektronenmikroskopie (SEM): Beobachten Sie gemäß GB/T 16594-2008 die Morphologie (polygonal, Kante $<0,05 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) und Agglomeration ($<5\% \pm 1\%$).

Sedimentationsmethode: Gemäß GB/T 14634.2-2010 misst es die Sedimentationsgeschwindigkeit und ist für grobe Partikel ($>5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) geeignet.

Methode der spezifischen Oberfläche: Gemäß GB/T 19587-2017 (BET-Methode) wird die durchschnittliche Partikelgröße berechnet. Die spezifische Oberfläche im Submikronbereich beträgt $>3 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,2 \text{ m}^2/\text{g}$.

Online-Überwachung: Der Online-Analysator für die Laserpartikelgröße kontrolliert die Verteilung in Echtzeit mit einer Abweichung von $<3\% \pm 0,5\%$.

(2) Reinheitsqualitätskontrolle und Prüfung von Wolframcarbidpulver

Steuerungstechnik:

Kontrolle der Rohstoffe: Reinheit des Wolframpulvers $> 99,9\% \pm 0,01\%$, enthält O $< 0,05\% \pm 0,01\%$; Rußreinheit $> 99,5\% \pm 0,01\%$, enthält O $< 0,03\% \pm 0,01\%$.

Kohlenstoffgehaltsverhältnis: W:C-Molverhältnis $1:1,01 \pm 0,01$, freier Kohlenstoff reduziert auf $0,08\% \pm 0,01\%$.

Atmosphärenkontrolle: Wasserstoff (H_2), $\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) reduziert WO_3 (Reduktionsrate $> 99\% \pm 1\%$), Oxid $< 0,03\% \pm 0,01\%$; Vakuumatmosphäre ($< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$) unterdrückt die Kohlenstoffverflüchtigung.

Nachbehandlung: Sieben (Porengröße $< 10 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) zur Entfernung von Agglomeraten und Erhöhung der Reinheit um $0,5\% \pm 0,1\%$; Säurewäsche (HCl, pH $2 \pm 0,1$) zur Entfernung von Fe ($< 0,01\% \pm 0,002\%$).

Geräteoptimierung: Ein hochreiner Graphitofen (mit C $< 0,01\% \pm 0,002\%$) reduziert die Kohlenstoffverschmutzung und ein Drehofen verbessert die Reaktionsgleichmäßigkeit.

Nachweismethode:

Freie Kohlenstofferkennung: Basierend auf GB/T 5124-2017, Infrarotabsorptionsmethode zur Verbrennung bei hohen Temperaturen, Genauigkeit $\pm 0,005\%$.

Oxiderkennung: Gemäß GB/T 5124-2017 wird WO_3 durch Säureauflösungstitration mit einer Genauigkeit von $\pm 0,002\%$ bestimmt.

Erkennung von Metallverunreinigungen: ICP-MS (GB/T 13748.20-2009), Erkennung von Fe und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Cr, Nachweisgrenze <0,001 %.

Phasenreinheitsanalyse: Röntgenbeugung (XRD, GB/T 27708-2011) bestätigte, dass die WC-Phasenreinheit >99,8 % ± 0,02 % betrug.

Online-Überwachung: Der Infrarot-Gasanalysator überwacht CO₂ in Echtzeit und kontrolliert freien Kohlenstoff <0,1 % ± 0,01 %.

(3) Qualitätskontrolle und Prüfung des Kohlenstoffgehalts im Wolframcarbidpulver

Steuerungstechnik:

Kontrolle der Rohstoffe: Rußpartikelgröße <0,1 µm±0,01 µm, Reinheit >99,5 %±0,01 %, wodurch die Gleichmäßigkeit des Kohlenstoffs gewährleistet wird.

Kohlenstoffgehaltsverhältnis: W:C-Molverhältnis 1:1,01±0,01, gebundener Kohlenstoff 6,1 %±0,01 %, freier Kohlenstoff <0,1 %±0,01 %.

Reaktionsbedingungen: 1450–1600 °C ± 10 °C, 2–4 Stunden ± 0,1 Stunde warm halten, vollständige Reaktion; Wasserstoff- oder Vakuumatmosphäre zur Reduzierung der Kohlenstoffverflüchtigung (Verlust < 0,1 % ± 0,01 %).

Nachbehandlung: Wärmebehandlung (800 °C ± 10 °C, H₂- Atmosphäre) zum Entfernen von freiem Kohlenstoff (Reduktion von 0,05 % ± 0,01 %); Beizen zum Entfernen von verkohlten Verunreinigungen.

Geräteoptimierung: Drehrohrofen (Geschwindigkeit 5 U/min ± 0,5 U/min) verbessert die Gleichmäßigkeit der Kohlenstoffverteilung mit einer Abweichung von < 2 % ± 0,5 %.

Nachweismethode:

Gesamtkohlenstoffgehalt : Basierend auf GB/T 5124-2017, Hochtemperaturverbrennungs-Infrarotabsorptionsmethode, Genauigkeit ±0,005 %.

Gebundener Kohlenstoff: Säureauflösung und -trennung nach Hochtemperaturverbrennung, Genauigkeit ±0,002 %.

Freier Kohlenstoff: Differenzberechnung oder direkte Verbrennungsmethode, Genauigkeit ±0,005 %.

Phasenanalyse: XRD (GB/T 27708-2011) bestätigt die WC-Phase und erkennt die W₂C- oder Graphitphase.

Online-Überwachung: Der Infrarot-Gasanalysator überwacht CO₂ in Echtzeit und kontrolliert den Kohlenstoffgehalt bei 6,0 %–6,2 % ± 0,01 %.

(4) Umfassender Einfluss der Wolframcarbidpulverqualität und ihrer Anwendung

Leistungsoptimierung: Partikelgröße 0,1–0,5 µm ± 0,01 µm verbessert die Härte (HV > 3000 ± 50), 5–10 µm ± 0,01 µm erhöht die Zähigkeit (K_{1c} > 20 MPa·m^{1/2} ± 0,5); Reinheit (freier Kohlenstoff < 0,1 % ± 0,01 %, Oxid < 0,05 % ± 0,01 %) gewährleistet Dichte (> 99 % ± 0,1 %); Kohlenstoffgehalt 6,0–6,2 % ± 0,01 % optimiert Härte und Verschleißfestigkeit.

Prozesseffizienz: Drehrohrofen, Additive (VC, Cr₃C₂) und Atmosphärenkontrolle (O₂ <10 ppm±1 ppm) verbessern die Qualitätskonsistenz von Werkzeugen für die Luft- und Raumfahrt (Lebensdauer >15 Stunden±1 Stunde) und Bohrmeißeln für den Bergbau (>1000 m±100 m).

Zuverlässigkeit der Erkennung: Die Kombination aus Laserpartikelgrößenanalyse, chemischer Analyse und XRD liefert genaue Daten und optimiert Produktionsprozesse.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(5) Herausforderungen und Verbesserungen bei der Qualitätskontrolle und Prüfung von Wolframcarbidpulver

Herausforderungen: Eine breite Partikelgrößenverteilung ($> 10 \% \pm 2 \%$) führt zu Leistungsschwankungen; die Einführung von Reinheitsverunreinigungen (wie $\text{Fe} > 0,02 \% \pm 0,005 \%$) beeinträchtigt die Korrosionsbeständigkeit; Abweichungen im Kohlenstoffgehalt ($> 0,1 \% \pm 0,01 \%$) führen zu Phasenverunreinigungen.

Verbesserung: KI wurde eingeführt, um die Prozessparameter (Temperatur, Atmosphäre) zu steuern, die Partikelgrößenabweichung betrug $< 2 \% \pm 0,5 \%$, die Reinheit wurde um $0,5 \% \pm 0,1 \%$ erhöht und der Kohlenstoffgehalt wurde bei $6,1 \% \pm 0,01 \%$ stabilisiert.

Die Partikelgröße ($0,1-10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), die Reinheit (freier Kohlenstoff $< 0,1 \% \pm 0,01 \%$, Oxid $< 0,05 \% \pm 0,01 \%$) und der Kohlenstoffgehalt ($6,0-6,2 \% \pm 0,01 \%$) von Wolframcarbidpulver werden durch Rohstoffkontrolle, Reaktionsoptimierung, Additive und Geräteverbesserungen gesteuert. Die Nachweismethoden (Laserpartikelgrößenanalyse, chemische Analyse, XRD) gewährleisten genaue Parameter, optimieren die Leistung von Hartmetall und unterstützen High-End-Anwendungen wie Luftfahrtwerkzeuge, verschleißfeste Formen und Bergbaubohrer.

4.2 Bindephase und Additive von Hartmetall

Die Bindephase ($\text{Co, Ni, } 5 \% \text{ } 30 \% \pm 1 \%$) sorgt für Zähigkeit ($K_{1c} 820 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) und Schlagfestigkeit (Schlagenergie $> 10 \text{ J} \pm 1 \text{ J}$), und der Korninhibitor ($\text{VC, Cr}_3\text{C}_2, < 1 \% \pm 0,01 \%$) kontrolliert das WC-Kornwachstum ($< 0,01 \mu\text{m}/\text{min} \pm 0,001 \mu\text{m}/\text{min}$) und verbessert die Härte ($\text{HV} > 2000 \pm 30$). Die Wahl der Bindephase und der Additive beeinflusst die Leistung: Hochreines Co ($> 99,9 \% \pm 0,01 \%$) erhöht die Zähigkeit, Ni ($> 99,8 \% \pm 0,01 \%$) verbessert die Korrosionsbeständigkeit (Korrosionsrate $< 0,01 \text{ mm}/\text{Jahr} \pm 0,002 \text{ mm}/\text{Jahr}$) und VC/ Cr_3C_2 optimiert die Feinkornstruktur (WC-Korngröße $< 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$). Dieser Abschnitt analysiert die Eigenschaften von Co/Ni-Pulver und den Mechanismus des Korninhibitors.

4.2.1 Eigenschaften und Auswahl von Hartmetallbindern - Co- und Ni-Pulver

Die Bindephase ist ein wichtiger Bestandteil von Hartmetall. Sie dient der Verbindung der WC-Partikel und sorgt für wichtige Eigenschaften wie Zähigkeit, Verarbeitungsleistung und Korrosionsbeständigkeit. Kobalt (Co) und Nickel (Ni) sind die am häufigsten verwendeten Bindemittel für Hartmetall, und ihre Eigenschaften und Auswahl wirken sich direkt auf die Leistung des Hartmetalls aus.

(1) Werkstoffeigenschaften und Anforderungen

Die Bindephase fungiert im Hartmetall als „Brücken“-Phase. Sie füllt die Lücken zwischen den WC-Partikeln, verbessert die Zähigkeit und die Verarbeitungseigenschaften des Materials und beeinflusst gleichzeitig die Korrosionsbeständigkeit und Hochtemperaturstabilität. Co und Ni sind aufgrund ihrer hervorragenden physikalischen und chemischen Eigenschaften die bevorzugten Bindemittel.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Eigenschaften des Co-Pulvers:

Kristallstruktur: kubisch-flächenzentrierte (FCC) Struktur, Gitterparameter $a = 0,3544 \text{ nm} \pm 0,0001 \text{ nm}$, mit hoher Symmetrie, Gleitsystem >12 , was eine ausgezeichnete plastische Verformbarkeit ergibt.

Dichte: $8,90 \text{ g/cm}^3 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$, nahe an WC ($15,63 \text{ g/cm}^3 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$), reduziert Sinterspannungen.

Schmelzpunkt: $1495 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, geeignet für Hochtemperaturesintern ($> 1200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$).

Härte: Vickershärte HV 100 ± 10 , niedriger als WC, bietet Zähigkeitspuffer.

Zähigkeit: Bruchzähigkeit $K_{Ic} 15\text{--}20 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, besser als Ni ($K_{Ic} 12\text{--}15 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$).

Wärmeleitfähigkeit: $80 \text{ W/(m}\cdot\text{K)} \pm 5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, hilft bei der Wärmeableitung und verlängert die Lebensdauer des Werkzeugs.

Wärmeausdehnungskoeffizient: $5,0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, passend zu WC ($5,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$), reduzierte Wärmespannung ($< 50 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$).

Anforderungen: Reinheit $> 99,9 \text{ } \%$ $\pm 0,01 \text{ } \%$, Fe $< 0,01 \text{ } \%$ $\pm 0,002 \text{ } \%$, O $< 0,05 \text{ } \%$ $\pm 0,01 \text{ } \%$, Partikelgröße $0,5\text{--}3 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$.

Einfluss auf die Leistung: Die Biegefestigkeit von Hartmetall mit $10 \text{ } \%$ $\pm 1 \text{ } \%$ Co beträgt $> 4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ und die Bruchzähigkeit $K_{Ic} > 18 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, was es für Schneidwerkzeuge und Bergbaugeräte geeignet macht.

Eigenschaften des Ni-Pulvers:

Kristallstruktur: kubisch-flächenzentrierte (FCC) Struktur, Gitterparameter $a = 0,3524 \text{ nm} \pm 0,0001 \text{ nm}$, Gleitsystem >12 , plastische Deformationsfähigkeit etwas geringer als bei Co.

Dichte: $8,91 \text{ g/cm}^3 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$, gut abgestimmt auf WC.

Schmelzpunkt: $1455 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, geeignet für Hochtemperaturesintern.

Härte: Vickershärte HV 90 ± 10 , weicher als Co, etwas geringere Zähigkeit.

Korrosionsbeständigkeit: Das Korrosionspotenzial beträgt $0,2 \text{ V} \pm 0,02 \text{ V}$ (vs. SCE) und ist damit besser als bei Co ($0,1 \text{ V} \pm 0,02 \text{ V}$). Die Korrosionsrate in einer Umgebung mit einem pH-Wert von 2–12 beträgt $< 0,02 \text{ mm/Jahr} \pm 0,005 \text{ mm/Jahr}$.

Wärmeleitfähigkeit: $90 \text{ W/(m}\cdot\text{K)} \pm 5 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, höher als Co, was zur Wärmeableitung beiträgt.

Wärmeausdehnungskoeffizient: $6,0 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} \pm 0,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, leicht unterschiedlich zu WC, und die Spannung nach dem Sintern ist etwas höher ($< 70 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$).

Anforderungen: Reinheit $> 99,8 \text{ } \%$ $\pm 0,01 \text{ } \%$, Fe $< 0,02 \text{ } \%$ $\pm 0,002 \text{ } \%$, O $< 0,1 \text{ } \%$ $\pm 0,01 \text{ } \%$, Partikelgröße $0,5\text{--}5 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$.

Auswirkungen auf die Leistung: Die Korrosionsrate von Hartmetall mit $12 \text{ } \%$ $\pm 1 \text{ } \%$ Ni in einer Meeresumgebung (pH 8, Tiefe 5000 m, Salzgehalt 3,5 %) beträgt $0,02 \text{ mm/Jahr} \pm 0,005 \text{ mm/Jahr}$, was für korrosionsbeständige Szenarien geeignet ist.

Verhältnis und Anwendungsszenarien:

Co macht $> 80 \text{ } \%$ $\pm 2 \text{ } \%$ der Bindephase aus. Aufgrund seiner hervorragenden Zähigkeit eignet es sich für Szenarien mit hoher Schlagzähigkeit (wie z. B. Luftfahrtwerkzeuge und Bergbaubohrer).

Ni macht $< 20 \text{ } \%$ $\pm 2 \text{ } \%$ aus. Aufgrund seiner starken Korrosionsbeständigkeit eignet es sich für chemische und maritime Umgebungen (wie Tiefseeventile und chemische Pumpenkörper).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beispiele:

Die Aufprallenergie des Werkzeugs mit $10\% \pm 1\%$ Co beim Schneiden in der Luftfahrt ($1000\text{ }^\circ\text{C}$, Ti-6Al-4V-Legierung) beträgt $> 12\text{ J} \pm 1\text{ J}$, der Verschleißbetrag beträgt $< 0,15\text{ mm} \pm 0,03\text{ mm}$ und die Lebensdauer beträgt $> 12\text{ h} \pm 1\text{ h}$.

Bei Tiefseeventilen (5000 m, Salzgehalt 3,5 %) mit $12\% \pm 1\%$ Ni beträgt die Korrosionstiefe $< 3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,5\text{ }\mu\text{m}$ und die Lebensdauer $> 5\text{ Jahre} \pm 0,5\text{ Jahre}$.

(2) Auswahlkriterien und Optimierung von Co- und Ni-Pulvern

Bei der Auswahl von Co- und Ni-Pulvern müssen Reinheit, Partikelgröße, Morphologie, Produktionsprozess und Kompatibilität mit WC umfassend berücksichtigt werden, um die Leistung des Hartmetalls zu optimieren.

Reinheit:

Co: $>99,9\% \pm 0,01\%$, Fe $<0,01\% \pm 0,002\%$, O $<0,05\% \pm 0,01\%$. Niedriger Fe-Gehalt verringert die Bildung der η -Phase ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) ($<0,5\% \pm 0,1\%$), niedriger O-Gehalt verringert die Porosität ($<0,1\% \pm 0,02\%$) und erhöht die Festigkeit um $3\% \pm 0,5\%$.

Ni: $>99,8\% \pm 0,01\%$, Fe $<0,02\% \pm 0,002\%$, O $<0,1\% \pm 0,01\%$. Geringe Verunreinigungen verbessern die Korrosionsbeständigkeit und reduzieren die Korrosionsrate um $2\% \pm 0,5\%$.

Auswirkungen: Hohe Reinheit reduziert Sinterdefekte (wie Poren und Einschlüsse) und erhöht die Biegefestigkeit auf $>4200\text{ MPa} \pm 100\text{ MPa}$.

Partikelgröße:

Co: $0,5\text{--}1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, verbessert die Dispersion (Gleichmäßigkeit $> 95\% \pm 1\%$) und die Zähigkeit um $5\% \pm 1\%$; $> 3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ führt zu einer ungleichmäßigen Verteilung und die Zähigkeit verringert sich um $3\% \pm 0,5\%$.

Ni: $0,5\text{--}3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, entspricht WC ($1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), Grenzflächenbindungsstärke $> 50\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, Korrosionsbeständigkeit um $2\% \pm 0,5\%$ erhöht; $> 5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$ verringert die Gleichmäßigkeit und die Korrosionsrate erhöht sich um $1\% \pm 0,2\%$.

Auswirkungen: Eine feine Partikelgröße verbessert die Gleichmäßigkeit der Bindemittelphasenverteilung und die Porosität nach dem Sintern beträgt $<0,05\% \pm 0,01\%$.

Aussehen:

Co: sphärisch (Sphäroidisierungsrate $> 90\% \pm 2\%$), reduzierte Agglomeration ($< 5\% \pm 1\%$), um $3\% \pm 0,5\%$ verbesserte Fließfähigkeit ($< 25\text{ s}/50\text{ g} \pm 2\text{ s}$, GB/T 1482-2010), geeignet für Formpressen.

Ni: polygonal (Kante $<0,1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) oder nahezu kugelförmig, erhöht die Festigkeit der Grenzflächenbindung ($>50\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$) und verbessert die Verschleißfestigkeit.

Auswirkungen: Die optimierte Morphologie verbessert die Gleichmäßigkeit der Pulververteilung und die Sinterbindungsstärke und die Oberflächenrauheit des Hartmetalls beträgt $\text{Ra} < 5\text{ }\mu\text{m} \pm 1\text{ }\mu\text{m}$.

Chemische Stabilität:

Co: Die Oxidationsrate in Luft bei $<600\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ beträgt $<0,01\text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{h} \pm 0,002\text{ mg}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$. Die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sinteratmosphäre muss kontrolliert werden ($O_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$).

Ni: Die Korrosionsrate in einer Umgebung mit einem pH-Wert von 2–12 beträgt $< 0,02 \text{ mm/Jahr} \pm 0,005 \text{ mm/Jahr}$ und seine Säure- und Alkalibeständigkeit ist besser als die von Co.

Auswirkungen: Die hohe Korrosionsbeständigkeit von Ni eignet sich für saure Umgebungen (wie z. B. chemische Pumpenkörper, pH 2–12), und Co muss vor Oxidation bei hohen Temperaturen geschützt werden.

Produktionsprozess:

Co:

Elektrolytische Methode: $O < 0,03 \% \pm 0,005 \%$, $Fe < 0,005 \% \pm 0,001 \%$, Reinheit um $1 \% \pm 0,2 \%$ erhöht, geeignet für Anwendungen mit hoher Zähigkeit.

Carbonylmethode: $O > 0,1 \% \pm 0,01 \%$, $Fe < 0,01 \% \pm 0,002 \%$, geringe Kosten, aber etwas geringere Reinheit.

Reduktionsverfahren: Partikelgröße $0,5\text{--}3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, geeignet für die Massenproduktion.

Ni:

Zerstäubungsmethode: $Fe < 0,01 \% \pm 0,002 \%$, $O < 0,05 \% \pm 0,01 \%$, sphärische Partikel ($> 90 \% \pm 2 \%$), geeignet für hohe Reinheitsanforderungen.

Elektrolyseverfahren: Partikelgröße $1\text{--}5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, $O < 0,1 \% \pm 0,01 \%$, niedrige Kosten.

Carbonylmethode: Die Morphologie ist einheitlich, aber der Fe-Gehalt ist etwas höher ($< 0,02 \% \pm 0,002 \%$).

Auswirkungen: Elektrolytisches Co und zerstäubtes Ni verbessern die Reinheit und Morphologiekonsistenz und Hartmetall weist eine bessere Leistung auf.

Kompatibilität mit WC:

Co: Der Benetzungswinkel mit WC beträgt $< 10^\circ \pm 1^\circ$ und die Bindungsstärke beträgt $> 60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, was für Szenarien mit hoher Zähigkeit geeignet ist.

Ni: Benetzungswinkel $< 15^\circ \pm 1^\circ$, Bindungsstärke $> 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, Korrosionsbeständigkeit ist besser als bei Co.

Auswirkung: Eine gute Benetzbarkeit stellt sicher, dass die Schnittstelle nach dem Sintern fehlerfrei ist und die Biegefestigkeit $> 4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ beträgt.

Beispiele:

$K_{1c} 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), hergestellt aus $0,8 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ elektrolytischem Co ($O < 0,03 \% \pm 0,005 \%$), wird für Bergbaubohrer (Aufprall $> 200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$) mit einer Lebensdauer von $> 1200 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$ verwendet.

$2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ verdüstetes Ni ($Fe < 0,01 \% \pm 0,002 \%$) (Korrosionsrate $0,01 \text{ mm/Jahr} \pm 0,002 \text{ mm/Jahr}$) werden in Chemieanlagen (pH 4) mit einer Lebensdauer von $> 3 \text{ Jahren} \pm 0,3 \text{ Jahren}$ eingesetzt.

(3) Optimierungsstrategie für Co- und Ni-Pulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mischvorgang:

Co+Ni- Verbundbindungsphase: Co:Ni- Verhältnis 4:1±0,2, kombiniert die hohe Zähigkeit von Co und die Korrosionsbeständigkeit von Ni, geeignet für Meeresbergbauausrüstung (Schlagfestigkeit >10 J±1 J, Korrosionsrate <0,015 mm/Jahr±0,002 mm/Jahr).

Kugelmahlprozess: Rotationsgeschwindigkeit 300 U/min ± 10 U/min, Kugel-Material-Verhältnis 10:1 ± 0,1, Zeit 10–20 Stunden ± 1 Stunde, gleichmäßige Dispersion sicherstellen (Gleichmäßigkeit > 95 % ± 1 %).

Additive: 0,1 % – 0,5 % ± 0,01 % VC oder Cr₃C₂ hemmen das Kornwachstum und die Partikelgrößenabweichung beträgt <3 % ± 0,5 %.

Sinterprozess:

Vakuumsintern: 1350°C±10°C, Atmosphäre <10⁻² Pa±10⁻³ Pa, reduzierte Oxidation (O <0,02%±0,005%).

HIP (Heißisostatisches Pressen): 1400°C±10°C, Druck 100 MPa±5 MPa, Dichte >99,5%±0,1%, Festigkeitszunahme 5 %±1%.

Atmosphärenkontrolle: H₂-Atmosphäre (O₂ < 10 ppm±1 ppm) hemmt die Co-Oxidation und Ar-Atmosphäre schützt die Ni-Stabilität.

Oberflächenbehandlung:

Co-Pulver: Oberflächenpassivierung (O₂-Adsorption <0,01 mg/g±0,002 mg/g), wodurch die Lagerungsoxidation verringert wird.

Ni-Pulver: Antioxidationsbeschichtung (z. B. dünne SiO₂-Schicht, Dicke <0,1 µm±0,01 µm), verbessert die Korrosionsbeständigkeit um 1 %±0,2 %.

(4) Technische Anwendung

Co-basiertes Hartmetall:

Luftfahrtwerkzeuge

Enthält 10 % ± 1 % Co, Härte HV 2900 ± 50, K_{1c} 18 MPa·m^{1/2} ± 0,5, Schneiden von Ti-6Al-4V (1000 °C, Geschwindigkeit > 300 m/min ± 10 m/min), Verschleißmenge < 0,15 mm ± 0,03 mm, Lebensdauer > 12 Stunden ± 1 Stunde.

Bergbaubohrer

Enthält 8 % ± 1 % Co, Schlagfestigkeit > 10 J ± 1 J, Bohren in hartem Gestein (Druckfestigkeit > 200 MPa ± 10 MPa), Lebensdauer > 1200 m ± 100 m.

Verschleißfeste Form

Enthält 12 % ± 1 % Co, Kaltstauchmatrize (> 10⁶-mal ± 10⁵-mal), Verformung < 0,01 mm ± 0,002 mm.

Hartmetall auf Ni-Basis:

Tiefseeventil

Enthält 12 % ± 1 % Ni, Korrosionstiefe < 5 µm ± 1 µm, Lebensdauer in Tiefseeumgebung (5000 m, Salzgehalt 3,5 %) > 5 Jahre ± 0,5 Jahre.

Körper der Chemiepumpe

Enthält 15 % ± 1 % Ni, pH 2–12, Korrosionsrate 0,01 mm/Jahr ± 0,002 mm/Jahr, Lebensdauer > 2

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Jahre \pm 0,2 Jahre.

Marine-Bergbauausrüstung

Enthält 10 % \pm 1 % Ni + 5 % \pm 1 % Co, Schlagfestigkeit $> 8 \text{ J} \pm 1 \text{ J}$, Korrosionsbeständigkeit um 3 % \pm 0,5 % verbessert, Lebensdauer $> 3 \text{ Jahre} \pm 0,3 \text{ Jahre}$.

Co+Ni -Verbundbindungsphase:

Ölbohrwerkzeuge: Co:Ni -Verhältnis 3:1 \pm 0,2, $K_{1c} < 16 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, Korrosionsrate $< 0,015 \text{ mm/Jahr} \pm 0,002 \text{ mm/Jahr}$, Lebensdauer $> 1000 \text{ Stunden} \pm 100 \text{ Stunden}$.

(5) Entwicklungstrends

Nanoskalige Bindephase: Entwicklung von $< 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ Co/Ni-Pulver, verbesserte Dispergierbarkeit (Gleichmäßigkeit $> 98\% \pm 1\%$), Hartmetallhärte $> \text{HV} 3000 \pm 50$, Zähigkeit $> K_{1c} < 20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$.

Grüne Produktion: Durch den Einsatz erneuerbarer Energien zur Elektrolyse von Co/Ni-Pulver wird der Energieverbrauch um 15 % \pm 2 % gesenkt und die Emissionen ($\text{CO}_2 < 500 \text{ kg/t} \pm 50 \text{ kg/t}$) reduziert.

Intelligente Steuerung: KI wird eingeführt, um das Co/Ni-Verhältnis und die Sinterparameter zu optimieren, wodurch die Leistungskonsistenz um 5 % \pm 1 % und die Produktionseffizienz um 10 % \pm 2 % verbessert wird.

Co und Ni werden als Hartmetallbinder verwendet. Co (FCC, $a = 0,3544 \text{ nm} \pm 0,0001 \text{ nm}$, Schmelzpunkt $1495 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) zeichnet sich vor allem durch eine hohe Zähigkeit ($K_{1c} 15\text{--}20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) aus, die $> 80\% \pm 2\%$ ausmacht, und eignet sich für Werkzeuge in der Luftfahrt und für Bohrmaschinen im Bergbau. Ni (FCC, $a = 0,3524 \text{ nm} \pm 0,0001 \text{ nm}$, Schmelzpunkt $1455 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) zeichnet sich durch Korrosionsbeständigkeit (Korrosionsrate $< 0,02 \text{ mm/Jahr} \pm 0,005 \text{ mm/Jahr}$) aus, die $< 20\% \pm 2\%$ ausmacht, und eignet sich für den Einsatz in Meeres- und Chemieumgebungen. Die Auswahlkriterien konzentrieren sich auf Reinheit (Co $> 99,9\% \pm 0,01\%$, Ni $> 99,8\% \pm 0,01\%$), Partikelgröße (Co $0,5\text{--}1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Ni $0,5\text{--}3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) und Morphologie (sphärisches Co, polygonales Ni). Durch Optimierung des Produktionsprozesses (elektrolytisches Co, zerstäubtes Ni), des Mischprozesses und der Sintertechnologie wird die Leistung von Hartmetall deutlich verbessert, um den Anforderungen der diversifizierten Technik gerecht zu werden. Nano-, umweltfreundliche und intelligente Entwicklung werden in Zukunft die Entwicklungsrichtung von Co/Ni-Pulver sein.

4.2.2 Mechanismus von Korninhibitoren (Vanadiumcarbid (VC) und Chromcarbid (Cr_3C_2))

Das Wachstum von WC-Körnern (Wolframcarbid) bei der Hartmetallherstellung. Vanadiumcarbid (VC) und Chromcarbid (Cr_3C_2) werden am häufigsten verwendet. Durch die Zugabe von VC und Cr_3C_2 können die Körner effektiv verfeinert, Härte und Festigkeit verbessert und die Leistung des Hartmetalls optimiert werden. Nachfolgend finden Sie eine detaillierte Analyse unter den Aspekten grundlegender Eigenschaften, Hemmmechanismus, Einflussfaktoren, Optimierungsstrategie und technischer Anwendung.

(1) Grundlegende Merkmale

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VC (Vanadiumcarbid):

Chemische Formel: VC, kubisches Kristallsystem (FCC), Gitterparameter $a = 0,416 \text{ nm} \pm 0,001 \text{ nm}$.
Dichte: $5,77 \text{ g/cm}^3 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$, Schmelzpunkt $2830^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, Härte HV 2800±50.

Eigenschaften: Hohe Härte, starke thermische Stabilität, geringe Löslichkeit in der Co-Bindephase ($\sim 5\% \pm 0,5\%$), geeignet für submikronisches Hartmetall.

Cr₃C₂ (Chromcarbid):

Chemische Formel: Cr₃C₂, orthorhombisches Kristallsystem, Gitterparameter $a = 0,552 \text{ nm} \pm 0,001 \text{ nm}$, $b = 1,149 \text{ nm} \pm 0,001 \text{ nm}$, $c = 0,283 \text{ nm} \pm 0,001 \text{ nm}$.

Dichte: $6,68 \text{ g/cm}^3 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$, Schmelzpunkt $1895^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, Härte HV 1300±50.

Eigenschaften: Gute Korrosionsbeständigkeit, hohe thermische Stabilität, sichere Löslichkeit mit Co/Ni-Bindungsphase (Löslichkeit in Co $\sim 2\% \pm 0,2\%$), geeignet für Hartmetall in Mikrongröße.

(2) Hemmmechanismus und Wirkung

Korninhibitoren können die Härte (HV >2000±30) und Festigkeit (>4000 MPa±100 MPa) von Hartmetall deutlich verbessern, indem sie das Wachstumsverhalten der WC-Körner während des Sinterns regulieren (Wachstumsrate <0,01 $\mu\text{m}/\text{min} \pm 0,001 \mu\text{m}/\text{min}$).

Hemmmechanismus von VC:

Während des Sinterprozesses löst sich VC teilweise in der Co-Phase (Löslichkeit $\sim 5\% \pm 0,5\%$), verringert die WC/Co-Grenzflächenenergie ($<0,5 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$) und hemmt den Auflösungs- und Wiederausfällungsprozess von WC (Ostwald-Reifung, Geschwindigkeit $<10^{-9} \text{ m/s} \pm 10^{-10} \text{ m/s}$).

VC scheidet sich an den WC-Korngrenzen ab und bildet nanoskalige Partikel ($<0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), die die Migration und Verschmelzung von WC-Körnern behindern.

von $0,5\% \pm 0,01\%$ VC kann die durchschnittliche Korngröße von WC von $1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ auf $0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ reduziert, die Härte um $10\% \pm 2\%$ (HV > 2200 ± 30) erhöht und die Verschleißfestigkeit verbessert werden (Verschleißverlust $<0,08 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$).

Der Hemmmechanismus von Cr₃C₂:

Cr₃C₂ scheidet eine dünne Schicht (Dicke $<5 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$) an der WC/Co-Grenzfläche ab, behindert die Diffusion von C- und W-Atomen (Diffusionskoeffizient $<10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$) und verringert die Kornverschmelzung (Verschmelzungsrate $<5\% \pm 1\%$).

Cr₃C₂ löst sich teilweise in der Co-Phase auf, wodurch sich die Grenzflächenenergie beim Flüssigphasensintern ändert (reduziert auf $<1 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$) und die Auflösungs- und Wiederausfällungsrate von WC verlangsamt wird.

Wirkung:

Durch Zugabe von $0,5\% \pm 0,01\%$ Cr₃C₂ kann die WC-Korngröße bei $0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ gehalten, die Festigkeit um $5\% \pm 1\%$ erhöht (Biegefestigkeit > 4200 MPa ± 100 MPa) und die Korrosionsbeständigkeit verbessert werden (Korrosionsrate $<0,015 \text{ mm}/\text{Jahr} \pm 0,002 \text{ mm}/\text{Jahr}$).

Anwendungsbereich:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aufgrund seiner starken Hemmwirkung besser für submikronisches Hartmetall (WC-Körner $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) geeignet.

Cr_3C_2 eignet sich besser für Hartmetall in Mikrongröße (WC-Körner $1-3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), da es Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit vereint.

Auswirkungen auf die Leistung:

Verfeinerte Körner verbessern Härte und Verschleißfestigkeit

Die Härte von Hartmetall mit $0,5 \% \pm 0,01 \% \text{ VC}$ beträgt $\text{HV} > 3100 \pm 50$ und ist für die Verarbeitung in der Luftfahrt geeignet.

Korngrenzenverstärkung verbessert Festigkeit und Zähigkeit

Die Biegefestigkeit von Hartmetall mit $0,5 \% \pm 0,01 \% \text{ Cr}_3\text{C}_2$ beträgt $>4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ und die Bruchzähigkeit $K_{1c} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$.

Hohe Temperaturstabilität

VC verbessert die Korngrenzenstabilität und die Verformung von Hartmetall bei $1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ beträgt $<0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

(3) Einflussfaktoren und Optimierung

Die Wirkung von Korninhibitoren wird von vielen Faktoren beeinflusst, wie beispielsweise der Zugabemenge, der Partikelgröße, der Sintertemperatur und der Atmosphäre. Die beste Leistung muss durch eine Optimierung des Prozesses sichergestellt werden.

Zusatzbetrag:

VC: $0,1-0,5 \% \pm 0,01 \%$. Eine zu hohe Menge ($> 0,8 \% \pm 0,01 \%$) führt zur Bildung der spröden Phase V_6C_5 (Härte $\text{HV} < 1500 \pm 50$), was zu einer Verringerung der Zähigkeit um $10 \% \pm 2 \%$ ($K_{1c} < 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$) führt.

Cr_3C_2 : $0,5-1 \% \pm 0,01 \%$. Eine zu hohe Menge ($> 1,5 \% \pm 0,01 \%$) verringert die Fließfähigkeit der Co-Phase ($< 10 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ s}$) und die Dichte verringert sich um $1 \% \pm 0,2 \%$ ($< 99 \% \pm 0,1 \%$).

Optimierung: Kontrollieren Sie die Zugabemenge genau, VC empfiehlt $0,3 \% \pm 0,01 \%$, Cr_3C_2 empfiehlt $0,5 \% \pm 0,01 \%$, um Härte und Zähigkeit auszugleichen.

Partikelgröße:

VC: $<0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ verbessert die Dispersion (Abweichung $<5\% \pm 1\%$) und die Härte erhöht sich um $5\% \pm 1\%$ ($\text{HV} > 2300 \pm 30$).

Cr_3C_2 : $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ verbessert die Festigkeit der Grenzflächenbindung ($>50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) und erhöht die Festigkeit um $3 \% \pm 0,5 \%$ ($>4300 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$).

Optimierung: Verwenden Sie VC und Cr_3C_2 im Nanomaßstab, kombiniert mit Ultraschalldispersion (Frequenz $40 \text{ kHz} \pm 1 \text{ kHz}$), um die Agglomeration zu reduzieren ($<5 \% \pm 1 \%$).

Sintertemperatur:

$1450 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ gewährleistet die Auflösung von VC und Cr_3C_2 (Auflösungsrate $> 90 \% \pm 2 \%$), und die Hemmwirkung wird um $5 \% \pm 1 \%$ verbessert.

$1550 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ führt zur Ausfällung von VC und Cr_3C_2 (Ausfällungsrate $> 10 \% \pm 2 \%$) und die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Härte nimmt um $3\% \pm 0,5\%$ ab ($HV < 2000 \pm 30$).

Optimierung: Kontrollieren Sie die Sintertemperatur auf $1400\text{--}1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ und verlängern Sie die Haltezeit ($2\text{--}3$ Stunden $\pm 0,1$ Stunden), um eine gleichmäßige Hemmung zu gewährleisten.

Eine Atmosphäre:

H₂-Atmosphäre ($O_2 < 10\text{ ppm} \pm 1\text{ ppm}$) hemmt die Oxidation von VC und Cr₃ C₂ ($O_2 < 0,05\% \pm 0,01\%$), und die Reinheit wird um $1\% \pm 0,2\%$ erhöht.

Eine Vakuumatmosphäre ($< 10^{-2}\text{ Pa} \pm 10^{-3}\text{ Pa}$) verringert die VC-Verflüchtigung (Verlust $< 0,1\% \pm 0,01\%$) und verbessert die Hemmwirkung um $2\% \pm 0,5\%$.

Bevorzugt wird eine H₂-Atmosphäre in Kombination mit einer Vakuumvorbehandlung zur Reduzierung des Oxidgehalts.

Mischmethode:

Kugelmühle (Geschwindigkeit $300\text{ U/min} \pm 10\text{ U/min}$, Zeit $10\text{--}20\text{ h} \pm 1\text{ h}$), um eine gleichmäßige Dispersion sicherzustellen (Gleichmäßigkeit $> 95\% \pm 1\%$).

Optimierung: Fügen Sie Dispergiermittel (wie Ethanol, $0,1\% \pm 0,01\%$) hinzu, um die Agglomeration zu reduzieren ($< 3\% \pm 1\%$) und die Dispersionseffizienz zu verbessern.

Beispiele:

$0,3\% \pm 0,01\%$ VC (Partikelgröße $< 0,1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), $1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, H₂-Atmosphärenprozess zur Erzeugung von WC-Körnern $0,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, Härte $HV\ 2300 \pm 30$, verwendet für PCB-Bohrer (Lebensdauer $> 10^5$ Löcher $\pm 10^4$ Löcher).

$0,5\% \pm 0,01\%$ Cr₃C₂ (Partikelgröße $< 0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), $1400\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, Vakuumatmosphärenprozess zur Erzeugung von WC-Körnern $0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, Festigkeit $> 4300\text{ MPa} \pm 100\text{ MPa}$, verwendet für Bergbaubohrer (Lebensdauer $> 1200\text{ m} \pm 100\text{ m}$).

(4) Technische Anwendung

VC fügte hinzu:

$0,5\% \pm 0,01\%$ VC wird für superharte Werkzeuge (WC-Korn $< 0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) in der Luftfahrtbearbeitung ($1000\text{ }^\circ\text{C}$, Ti-6Al-4V-Legierung) verwendet, mit Verschleiß $< 0,08\text{ mm} \pm 0,02\text{ mm}$ und Lebensdauer $> 15\text{ h} \pm 1\text{ h}$.

$0,3\% \pm 0,01\%$ VC für PCB-Bohrer (WC-Korn $0,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), Härte $HV\ 2300 \pm 30$, Lebensdauer $> 10^5$ Löcher $\pm 10^4$ Löcher.

Cr₃C₂ -Zusatz :

$0,5\% \pm 0,01\%$ Cr₃C₂ wird in Bergbaubohrern (WC-Korn $1\text{--}3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$) verwendet, mit einer Lebensdauer von $> 1200\text{ m} \pm 100\text{ m}$ beim Bohren in hartem Gestein (Druckfestigkeit $> 200\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$).

$0,8\% \pm 0,01\%$ Cr₃C₂ wird für chemische Pumpenkörper verwendet (WC-Korn $1\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), die Korrosionsrate in einer Umgebung mit einem pH-Wert von $2\text{--}12$ beträgt $< 0,015\text{ mm/Jahr} \pm 0,002\text{ mm/Jahr}$ und die Lebensdauer beträgt $> 2\text{ Jahre} \pm 0,2\text{ Jahre}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

VC+Cr₃C₂ -Verbindungszugabe:

± 0,01 % Cr₃C₂ wird für Meeresbergbauausrüstung verwendet (WC-Korn 0,5 µm ± 0,01 µm) , Schlagfestigkeit > 10 J ± 1 J, Korrosionsrate < 0,01 mm/Jahr ± 0,002 mm/Jahr, Lebensdauer > 3 Jahre ± 0,3 Jahre.

(5) Prüfung und Qualitätskontrolle

Körnung

Zur Messung der WC-Korngröße (Abweichung <5 % ± 1 %) wurde Rasterelektronenmikroskopie (SEM, GB/T 16594-2008) verwendet.

Gleichmäßigkeit der Verteilung: Das Röntgenenergiespektrum (EDS, GB/T 17359-2012) wird verwendet, um die Verteilung von VC/ Cr₃C₂ an Korngrenzen zu erkennen (Abweichung <3 % ± 0,5 %).

Leistungstests

Härte: Messen Sie gemäß ISO 4499-2 die Vickers-Härte (HV >2000±30).

Festigkeit: Testen Sie die Biegefestigkeit gemäß GB/T 3851-2015 (> 4000 MPa ± 100 MPa).

Verschleißfestigkeit: Messen Sie gemäß GB/T 12444-2006 den Verschleißgrad (<0,08 mm ± 0,02 mm).

Online-Überwachung: Infrarot-Wärmebildgebung überwacht die Sintertemperatur (Abweichung <5 °C ± 1 °C), um eine gleichbleibende Hemmwirkung sicherzustellen.

Die Korninhibitoren VC und Cr₃C₂ hemmen das Kornwachstum von WC (Wachstumsrate <0,01 µm /min ± 0,001 µm /min) durch einen Auflösungs-Wiederausfällungsmechanismus, verfeinern die Körner (<0,5 µm ± 0,01 µm) und verbessern die Härte (HV > 2000 ± 30), Festigkeit (> 4000 MPa ± 100 MPa) und Verschleißfestigkeit (Verschleißverlust <0,08 mm ± 0,02 mm) von Hartmetall deutlich. VC eignet sich für submikrones Hartmetall (starke Hemmwirkung), und Cr₃C₂ eignet sich für Mikron-Hartmetall (unter Berücksichtigung der Korrosionsbeständigkeit). Die beste Hemmwirkung kann durch Optimierung der Zugabemenge (VC 0,1–0,5 % ± 0,01 %, Cr₃C₂ 0,5–1 % ± 0,01 %), Partikelgröße (VC < 0,1 µm ± 0,01 µm, Cr₃C₂ < 0,5 µm ± 0,01 µm), Sintertemperatur (1450 °C ± 10 °C) und Atmosphäre (H₂ oder Vakuum) erzielt werden. Der Einsatz von VC und Cr₃C₂ verbessert die Leistung von Flugzeugwerkzeugen (Lebensdauer > 15 Stunden ± 1 Stunde), Bergbaubohrern (Lebensdauer > 1200 m ± 100 m) und chemischen Geräten (Lebensdauer > 2 Jahre ± 0,2 Jahre) erheblich.

4.3 Pulvervorbehandlung

Die Pulvervorbehandlung optimiert die Mischgleichmäßigkeit (Abweichung < 5 % ± 1 %), die Partikelgrößenverteilung (0,110 µm ± 0,01 µm) und die Fließfähigkeit (1316 s/50 g ± 0,5 s) von WC, Co/Ni und Additiven durch Kugelmahlen (Nass-/Trockenmahlen, Kugel-Pulver-Verhältnis 10:1 ± 0,5) und Sprühtrocknen (Durchflussrate 100 l/h ± 10 l/h). Die Vorbehandlung gewährleistet

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sinterdichte ($> 99 \% \pm 0,1 \%$) und Leistungskonsistenz (Härteabweichung $< \pm 30 \text{ HV}$), reduziert die Porosität ($< 0,1 \% \pm 0,02 \%$) und verbessert die Festigkeit ($> 4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$). Dieser Abschnitt analysiert die Kugelmahl- und Sprühtrocknungsprozesse.

4.3.1 Kugelmahlverfahren (Nassmahlen/Trockenmahlen, Kugel-Material-Verhältnis 10:1)

Prozessparameter und -prinzip

Beim Kugelmahlen werden WC-Kugeln (Durchmesser $510 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, Härte $\text{HV } 1800 \pm 50$) verwendet, um WC ($0,110 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), Co/Ni ($0,53 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) und Additive (VC/Cr₃C₂, $< 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) zu mahlen, mit einem Kugel-Material-Verhältnis von $10:1 \pm 0,5$, einer Rotationsgeschwindigkeit von $200400 \text{ U/min} \pm 10 \text{ U/min}$ und einer Zeit von $424 \text{ h} \pm 0,1 \text{ h}$.

Nassmahlen

Verwenden Sie Ethanol (Reinheit $> 99,5 \% \pm 0,01 \%$, Zugabemenge $50 \% \text{ } 100 \% \pm 5 \%$ Massenanteil), fügen Sie ein Dispergiermittel (PEG, $0,5 \% \text{ } 1 \% \pm 0,01 \%$) hinzu, reduzieren Sie die Agglomeration ($< 5 \% \pm 1 \%$) und die Partikelgrößenabweichung beträgt $< 3 \% \pm 0,5 \%$.

Trockenmahlen

Kein Medium, geeignet für Formeln mit niedrigem Co-Gehalt ($< 6 \% \pm 1 \%$), geringere Verschmutzung (Fe $< 0,01 \% \pm 0,002 \%$), aber höhere Agglomerationsrate ($> 10 \% \pm 2 \%$).

Der Nassmahlanteil betrug aufgrund der hohen Gleichmäßigkeit $> 90 \% \pm 2 \%$ (Mischabweichung $< 2 \% \pm 0,5 \%$).

Die Kinetik basierte auf der Kollisionsenergie ($10^{-3} \text{ J/Schuss} \pm 10^{-4} \text{ J/Schuss}$) und einer Verfeinerungsrate von $0,1 \mu\text{m/h} \pm 0,01 \mu\text{m/h}$.

Beispielsweise entsteht durch Nassmahlen ($12 \text{ h} \pm 0,1 \text{ h}$, Ethanol $100 \% \pm 5 \%$) ein Mischpulver aus WC $0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ und Co $0,8 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ mit einer Gleichmäßigkeit von $> 98 \% \pm 1 \%$, das für Luftfahrtwerkzeuge verwendet wird (Härte $\text{HV } 2200 \pm 30$, Lebensdauer $> 12 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$).

Einflussfaktoren und Optimierung

Der Effekt des Kugelmahlens wird durch die folgenden Faktoren beeinflusst:

Ball-Material-Verhältnis

$10:1 \pm 0,5$ weist eine hohe Verfeinerungseffizienz auf ($> 90 \% \pm 2 \%$), $> 15:1$ erhöht die Verunreinigung (Fe $> 0,05 \% \pm 0,01 \%$) und die Härte verringert sich um $2 \% \pm 0,5 \%$.

Geschwindigkeit

$300 \text{ U/min} \pm 10 \text{ U/min}$ gleichen Effizienz und Verschleiß aus (Kugelverschleiß $< 0,1 \% \pm 0,02 \%$), $< 200 \text{ U/min}$ unzureichende Verfeinerung (Partikelgröße $> 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$).

Zeit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

12 Stunden \pm 0,1 Stunden gewährleisten Gleichmäßigkeit (Abweichung $< 2 \% \pm 0,5 \%$), > 24 Stunden führen zu übermäßigem Verschleiß ($Fe > 0,03 \% \pm 0,005 \%$) und die Zähigkeit nimmt um $3 \% \pm 0,5 \%$ ab.

Medium

Ethanol reduziert die Oberflächenenergie ($< 0,1 \text{ J/m}^2 \pm 0,02 \text{ J/m}^2$) und verringert die Agglomeration um $5 \pm 1 \%$. Wasser (Reinheit $> 99,9 \pm 0,01 \%$) ist kostengünstig, erhöht aber den O-Gehalt um $0,05 \pm 0,01 \%$.

Kugelmateriale

WC-Kugeln (Reinheit $> 99,5 \% \pm 0,01 \%$) sind weniger verunreinigt ($Fe < 0,01 \% \pm 0,002 \%$) und besser als Stahlkugeln ($Fe > 0,1 \% \pm 0,02 \%$).

Beispielsweise entsteht durch Nassmahlen ($10:1 \pm 0,5$, $300 \text{ U/min} \pm 10 \text{ U/min}$, $12 \text{ h} \pm 0,1 \text{ h}$, WC-Kugeln) ein Mischpulver (WC $0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) für Leiterplattenbohrer (Lebensdauer $> 10^5$ Löcher $\pm 10^4$ Löcher).

Technische Anwendung

Nassmahlen

WC $0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Co $0,8 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ werden für Schneidwerkzeuge verwendet (Luftfahrt, Verschleiß $< 0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$).

Trockenmahlen

Für Formen (Extrusion $> 10^5$ -mal $\pm 10^4$ -mal) mit einer Deformation $< 0,01 \pm 0,002 \text{ mm}$ wird eine Formulierung mit niedrigem Co-Gehalt ($6 \% \pm 1 \%$) verwendet.

Trockenmahlen und Nassmahlen im Kugelmahlverfahren zur Vorbehandlung von Hartmetall-Rohstoffen

Kategorie	Parameter Merkmale	Trockenmahlen	Nassmahlen
Technologie Parameter	Medium	Kein flüssiges Medium, nur Luft oder Inertgas (wie Ar, O ₂ $< 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$).	Flüssiges Medium (wie Wasser, Ethanol, Aceton), Konzentration $50 \% - 70 \% \pm 2 \%$ (Feststoff-Flüssigkeits-Verhältnis).
	Ball-Material-Verhältnis	5:1 bis $10:1 \pm 0,1$, höher, um die Mahlleistung sicherzustellen.	3:1 bis $8:1 \pm 0,1$, flüssiges Medium reduziert die Reibung, das Kugel-Material-Verhältnis kann etwas niedriger sein.
	Geschwindigkeit	200–400 U/min $\pm 10 \text{ U/min}$. Zu hohe Werte ($> 500 \text{ U/min}$) können zu Überhitzung und Agglomeration ($> 10 \% \pm 1 \%$) führen.	300–500 U/min $\pm 10 \text{ U/min}$, Flüssigkeitskühlung, die Geschwindigkeit kann etwas höher

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kategorie	Parameter Merkmale	Trockenmahlen	Nassmahlen
			sein und die Agglomerationsrate beträgt $< 5 \% \pm 1 \%$.
	Schleifen Zeit	10–20 Stunden $\pm 0,5$ Stunden. Lange Zeit kann zu Überhitzung führen. Partikelgrößenabweichung $> 10 \% \pm 1 \%$.	5–15 Stunden $\pm 0,5$ Stunden, hohe Flüssigkeitseffizienz, kurze Zeit, Partikelgrößenabweichung $< 5 \% \pm 1 \%$.
	Kugelmahlen Medium	Hartmetallkugeln (HRC 65-75 ± 2), ZrO ₂ - Kugeln (HRC 70-80 ± 2), Durchmesser 2-10 mm $\pm 0,1$ mm.	Hartmetallkugeln, ZrO ₂ - Kugeln, Edelstahlkugeln (HRC 25-35 ± 2), Durchmesser 1-5 mm $\pm 0,1$ mm.
	Temperatur Kontrolle	Natürliche Wärmeableitung, die Temperatur steigt leicht an ($> 60 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) und eine intermittierende Kühlung ist erforderlich (alle 2 Stunden $\pm 0,1$ Stunden für 30 Minuten ± 5 Minuten anhalten).	Wärmeableitung des flüssigen Mediums, Temperatur $< 40 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, keine zusätzliche Kühlung erforderlich.
	Atmosphäre Kontrolle	Inertgas (wie Ar oder N ₂ , O ₂ $< 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$), verhindert Oxidation (O $< 0,05\% \pm 0,01\%$).	Das flüssige Medium isoliert die Luft und die Oxidationsrate beträgt $< 0,03 \% \pm 0,005 \%$. Es kann Luft oder eine inerte Atmosphäre verwendet werden.
	Hinzufügen zu Agent	Fügen Sie Paraffinwachs (1 % – 2 % $\pm 0,1$ %) trocken hinzu, um die Fließfähigkeit zu verbessern ($< 30 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 2 \text{ s}$).	PVA oder PEG (1 %–3 % $\pm 0,1$ %) nass hinzufügen, im Medium auflösen und die Dispergierbarkeit verbessern ($> 95 \% \pm 1 \%$).
	Pulver Partikelgröße	Geeignet für Grobmahlung (1–10 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), die Effizienz beim Verfeinern auf 0,5 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ ist gering.	Geeignet zum Feinmahlen und Ultrafeinmahlen (0,1–1 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), mit hoher Veredelungseffizienz und Verteilungsabweichung $< 5 \% \pm 1 \%$.
	Reinheit Kontrolle	Verunreinigungen (wie etwa Fe $< 0,02 \% \pm 0,005 \%$) können leicht eindringen und müssen durch Beizen entfernt werden.	Das flüssige Medium weist weniger Verunreinigungen (Fe $< 0,01 \% \pm 0,002 \%$) und eine höhere Reinheit ($> 99,9 \% \pm 0,01 \%$) auf.
	trocken Schritt	Kein Trocknen nötig, einfach direkt andrücken.	Muss 4–8 Stunden $\pm 0,5$ Stunden getrocknet werden (Vakuumtrocknung, $80 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, $< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$).
	Energieverbrauch	Höher (50–80 kWh ± 5 kWh pro Tonne)	Niedrig (30–50 kWh ± 5 kWh pro

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kategorie	Parameter Merkmale	Trockenmahlen	Nassmahlen
		Pulver) aufgrund hoher Reibung.	Tonne Pulver), Flüssigkeit reduziert die Reibung.
Merkmale	Verfahren Sauberkeit	Der Prozess ist einfach, erfordert keine zusätzliche Ausrüstung und eignet sich für die Produktion im großen Maßstab (> 1 Tonne/Charge).	Der Prozess ist relativ aufwendig und erfordert eine Trocknungsanlage, die für die Feinverarbeitung geeignet ist.
	Partikelgröße verteilt	Verteilungsbreite ((D90-D10)/D50 >2,0±0,2), Gleichmäßigkeit <90%±1%.	Die Verteilung ist eng ((D90-D10)/D50 <1,5±0,1) und die Gleichmäßigkeit beträgt >95%±1%.
	Wiedervereinigungsrate	Hoch (>10 % ± 1 %), Temperatur und Zusatzstoffe müssen kontrolliert werden.	Niedrig (<5 % ± 1 %), effektiv in flüssigen Medien dispergiert.
	Oxidation Kontrolle	Es ist eine inerte Atmosphäre erforderlich und die Oxidationsrate kann >0,05 % ± 0,01 % betragen.	Flüssigkeitsisolierung, Oxidationsrate <0,03 % ± 0,005 %.
Für und Wider	Vorteil	Niedrige Kosten (geringere Ausrüstungsinvestition, kein Trocknungsschritt, geeignet für die Grobverarbeitung).	Hohe Raffinationseffizienz und hohe Reinheit, geeignet für ultrafeines Pulver (<0,5±0,01 μm).
	Mangel	Die Raffinationsfähigkeit ist begrenzt, es kommt leicht zur Agglomeration und hohe Temperaturen (> 60 °C ± 2 °C) führen zur Oxidation.	Durch die erforderliche Trocknung steigt der Energieverbrauch (10–20 kWh/t ± 2 kWh) und die Flüssigkeit kann Feuchtigkeit einbringen (> 0,1 % ± 0,01 %).
Anwendungsszenario	Anwendbar Umfang	Grobpartikelmischung (>5 μm ± 0,01 μm) für eine kostengünstige Produktion (z. B. Bohrkronenrohlinge für den Bergbau).	Submikron- und Nanometerpulver (<0,5 μm ± 0,01 μm), Hochpräzisionsformen (z. B. Werkzeuge für die Luftfahrt).
	Beispiele	WC-Co-Pulver (D50 = 5 μm ± 0,01 μm), Biegefestigkeit > 3800 MPa ± 100 MPa, Lebensdauer > 1200 m ± 100 m.	WC-Pulver (D50=0,3 μm±0,01 μm), Härte HV>3000±50, Lebensdauer>15 Stunden±1 Stunde.
Optimierungsvorschläge	Kugelmahlen Medium	Verwenden Sie Hartmetallkugeln (HRC 65–75 ± 2), um Verunreinigungen zu reduzieren (Fe < 0,01 % ± 0,002 %).	Verwenden Sie ZrO ₂ -Kugeln (HRC 70–80±2), um Verunreinigungen zu vermeiden (O<0,03 %±0,005 %).
	Hinzufügen zu Dosierungsoptimierung	1 % ± 0,1 % Paraffinwachs, reduziert die Aggregationsrate (< 5 % ± 1 %).	1 %–3 % ± 0,1 % PVA oder PEG, um die Dispersion zu verbessern (Gleichmäßigkeit > 95 % ± 1 %).
	Temperatur	Intermittierender Betrieb (30 Minuten ± 5	Flüssigkeitskühlung, keine zusätzliche

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kategorie	Parameter Merkmale	Trockenmahlen	Nassmahlen
veranschaulichen	Kontrolle	Minuten Pause alle 2 Stunden $\pm 0,1$ Stunde), $<50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.	Steuerung erforderlich, $<40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$.
	Atmosphäre Optimierung	Ar- oder N ₂ -Atmosphäre (O ₂ $< 10\text{ ppm} \pm 1\text{ ppm}$), Oxidation $< 0,03\text{ } \% \pm 0,005\text{ } \%$.	Ethanolmedium (Reinheit $> 99,5\text{ } \% \pm 0,1\text{ } \%$), Fest-Flüssig-Verhältnis $60\text{ } \% \pm 2\text{ } \%$, Oxidation $< 0,01\text{ } \% \pm 0,002\text{ } \%$.
	Nachbearbeitung	Kein Trocknen nötig, einfach direkt andrücken.	Vakuumtrocknung ($80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $< 10^{-2}\text{ Pa} \pm 10^{-3}\text{ Pa}$), Feuchtigkeit $< 0,05\text{ } \% \pm 0,01\text{ } \%$.
	Energieverbrauch Optimierung	Optimieren Sie die Drehzahl ($< 400\text{ U/min} \pm 10\text{ U/min}$) und reduzieren Sie den Energieverbrauch um $10\text{ } \% \pm 2\text{ } \%$.	Optimieren Sie die Trocknungszeit ($< 6\text{ Stunden} \pm 0,5\text{ Stunden}$) und reduzieren Sie den Energieverbrauch um $5\text{ } \% \pm 1\text{ } \%$.
Trockenmahlen und Nassmahlen haben ihre eigenen Besonderheiten bei der Vorbehandlung von Hartmetall-Rohstoffen. Trockenmahlen ist einfach (keine Trocknung erforderlich) und kostengünstig (Energieverbrauch $50\text{--}80\text{ kWh/t} \pm 5\text{ kWh}$), eignet sich zum Grobmahlen ($> 5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$), weist jedoch eine breite Streuung ($> 2,0 \pm 0,2$) und eine hohe Agglomerationsrate ($> 10\text{ } \% \pm 1\text{ } \%$) auf; Nassmahlen bietet den Vorteil einer hohen Veredelungseffizienz ($99,9\text{ } \% \pm 0,01\text{ } \%$) und eignet sich für hochpräzise Anwendungen, erfordert jedoch eine Trocknung (Energieverbrauch $30\text{--}50\text{ kWh/t} \pm 5\text{ kWh}$). Durch Optimierung des Kugel-Material-Verhältnisses (Trockenschleifen $5:1\text{--}10:1 \pm 0,1$, Nassschleifen $3:1\text{--}8:1 \pm 0,1$), der Rotationsgeschwindigkeit (Trockenschleifen $200\text{--}400\text{ U/min} \pm 10\text{ U/min}$, Nassschleifen $300\text{--}500\text{ U/min} \pm 10\text{ U/min}$) und der Medienauswahl unterstützt das Trockenschleifen Bergbaubohrer (Lebensdauer $> 1200\text{ m} \pm 100\text{ m}$) und das Nassschleifen unterstützt Luftfahrtwerkzeuge (Lebensdauer $> 15\text{ Stunden} \pm 1\text{ Stunde}$) und erfüllt so vielfältige Anforderungen.			

4.3.2 Sprühtrocknungs- und Granulationstechnologie

Die Sprühtrocknungs- und Granulierungstechnologie ist der Kernprozess bei der Vorbehandlung von Hartmetall-Rohstoffen (wie Wolframkarbidpulver WC, Kobaltpulver Co und Nickelpulver Ni), mit dem aus feinem Pulver Partikel mit hervorragender Fließfähigkeit und Presseigenschaften hergestellt werden.

(1) Grundlagen der Sprühtrocknungs- und Granulationstechnik

Sprühtrocknung:

Verfahren: Die Suspension oder Aufschlämmung, die WC, Co und andere Pulver enthält, wird durch einen Zerstäuber in winzige Tröpfchen ($10\text{--}200\text{ }\mu\text{m} \pm 0,1\text{ }\mu\text{m}$) gesprüht und das Wasser wird in einem Hochtemperatur-Luftstrom ($150\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) schnell verdampft (Verdampfungsrate $> 90\text{ } \% \pm 2\text{ } \%/s$), um trockene Partikel zu bilden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wärme- und Stoffübertragung: Das Wasser an der Tropfenoberfläche verdunstet zuerst, und das Wasser im Inneren wandert durch Diffusion. Die Trocknungszeit beträgt $<1 \pm 0,1$ s.

Ziel: Partikelgröße $20\text{--}150 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, Fließfähigkeit $< 20 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 2 \text{ s}$ (GB/T 1482-2010), Schüttdichte $> 1,5 \text{ g}/\text{cm}^3 \pm 0,1 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Granulation:

Verfahren: Beim Sprühtrocknen fördern Bindemittel (wie PVA, PEG) die Haftung der Partikel innerhalb der Tröpfchen und die Oberflächenspannung ($<0,07 \text{ N}/\text{m} \pm 0,01 \text{ N}/\text{m}$) bildet kugelförmige oder nahezu kugelförmige Partikel.

Mechanismus: Die Partikel kollidieren und verbinden sich während des Trocknungsprozesses, und das Bindemittel verfestigt sich zu einer Netzwerkstruktur (Porosität $<10 \% \pm 1 \%$), die die Festigkeit der Partikel erhöht.

Ziel: Druckfestigkeit des Grünkörpers $> 10 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$, Dichtegleichmäßigkeit nach dem Pressen $> 98 \% \pm 1 \%$.

(2) Prozessparameter

Futterkonzentration:

Bereich: $20 \% - 40 \% \pm 1 \%$ (Feststoffmassenanteil).

Auswirkungen: Eine Konzentration von $<15 \% \pm 1 \%$ führt zu zu feinen Partikeln ($<20 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) und schlechter Fließfähigkeit ($>30 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 2 \text{ s}$); eine Konzentration von $>45 \% \pm 1 \%$ führt zu einer zu hohen Viskosität ($>1000 \text{ mPa}\cdot\text{s} \pm 50 \text{ mPa}\cdot\text{s}$) und verstopften Düsen.

Optimierung: $25\% - 30\% \pm 1\%$, Partikelgröße $50\text{--}100 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, Viskosität $300\text{--}500 \text{ mPa}\cdot\text{s} \pm 50 \text{ mPa}\cdot\text{s}$.

Förderleistung:

Bereich: $5\text{--}20 \text{ l}/\text{h} \pm 0,5 \text{ l}/\text{h}$ (kleine und mittlere Geräte), $50\text{--}200 \text{ l}/\text{h} \pm 5 \text{ l}/\text{h}$ (große Geräte).

Auswirkungen: Durchflussrate $<5 \text{ l}/\text{h} \pm 0,5 \text{ l}/\text{h}$, ungleichmäßige Trocknung, Restwasser $>1 \% \pm 0,2 \%$; $>25 \text{ l}/\text{h} \pm 0,5 \text{ l}/\text{h}$, Partikel sind zu groß ($>200 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) und die Schüttdichte nimmt ab.

Optimierung: $10\text{--}15 \text{ l}/\text{h} \pm 0,5 \text{ l}/\text{h}$ (klein und mittel), $100\text{--}150 \text{ l}/\text{h} \pm 5 \text{ l}/\text{h}$ (groß), Trocknungseffizienz $> 95 \% \pm 1 \%$.

Zulufttemperatur:

Bereich: $150\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ (Austrittstemperatur $80\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$).

Auswirkungen: Temperatur $<150 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, unvollständige Trocknung, Restwasser $>1 \% \pm 0,2 \%$, hohe Partikelviskosität; $>350 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, Bindemittel zersetzt sich (Restkohlenstoff $>0,3 \% \pm 0,01 \%$) und die Partikelbrüchigkeit nimmt zu.

Optimierung: $200\text{--}250 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, Restwasser $<0,2 \% \pm 0,05 \%$, Bindemittelrückhalterate $>90 \% \pm 2 \%$.

Zerstäubungsdruck:

Bereich: $0,1\text{--}0,3 \text{ MPa} \pm 0,01 \text{ MPa}$ (Drucktyp), $0,2\text{--}0,4 \text{ MPa} \pm 0,01 \text{ MPa}$ (Luftstromtyp).

Auswirkungen: Bei einem Druck von $<0,1 \text{ MPa} \pm 0,01 \text{ MPa}$ sind die Tröpfchen groß ($>200 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) und die Trocknung ist ungleichmäßig; bei einem Druck von $>0,4 \text{ MPa} \pm 0,01 \text{ MPa}$ sind die Tröpfchen zu klein ($<20 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) und die Fließfähigkeit ist schlecht.

Optimierung: $0,2\text{--}0,25 \text{ MPa} \pm 0,01 \text{ MPa}$, Tröpfchengröße $50\text{--}100 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, Verteilungsgleichmäßigkeit $> 95 \% \pm 1 \%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bindemitteldosierung:

Bereich: 1 % – 5 % ± 0,1 % (PVA, PEG, Paraffin).

Auswirkungen: Eine Dosierung von <1 % ± 0,1 % führt zu einer unzureichenden Partikelfestigkeit (<5 MPa ± 0,5 MPa); eine Dosierung von >7 % ± 0,1 % führt zu erhöhtem Restkohlenstoff (>0,2 % ± 0,01 %) und einer Sinterporosität von >0,2 % ± 0,02 %.

Optimierung: 2 % – 3 % ± 0,1 %, Festigkeit > 12 MPa ± 1 MPa, Restkohlenstoff < 0,1 % ± 0,01 %.

(3) Arten und Eigenschaften von Sprühtrocknungs- und Granulationsanlagen

Zentrifugalsprühtrockner:

Funktionsprinzip: Die schnell rotierende Scheibe (1000–20.000 U/min ± 50 U/min) zerkleinert die Aufschlämmung und wird durch heiße Luft (200–300 °C ± 5 °C) getrocknet.

Merkmale:

Partikelgröße: 20–120 µm ± 0,1 µm, Sphärizität > 90 % ± 2 %.

Leistung: 100–1000 kg/h ± 10 kg/h (je nach Scheibendurchmesser).

Vorteile: Geeignet für hochviskose Schlämme (<1000 mPa·s ± 50 mPa·s), enge Partikelverteilung ((D90-D10)/D50 < 1,5 ± 0,1).

Nachteile: Hohe Drehzahl (>15.000 U/min ± 50 U/min), schneller Scheibenverschleiß (Lebensdauer < 500 Stunden ± 50 Stunden), hohe Wartungskosten.

Anwendung: Großflächige WC-Co-Pulvergranulation (D50 = 50 µm ± 0,1 µm) für Luftfahrtwerkzeuge.

Drucksprühtrockner:

Funktionsprinzip: Hochdruckpumpe (0,1–0,3 MPa ± 0,01 MPa) zerstäubt durch Düsen, heiße Luft (150–250 °C ± 5 °C) trocknet.

Merkmale:

Partikelgröße: 30–150 µm ± 0,1 µm, Sphärizität > 95 % ± 2 %.

Leistung: 50–500 kg/h ± 5 kg/h.

Vorteile: Flexibles Düsendesign (Einzel- oder Mehrloch), geeignet für niedrigviskose Schlämme (<500 mPa·s ± 50 mPa·s), geringer Energieverbrauch (<60 kWh/t ± 5 kWh).

Nachteile: Düsen verstopfen leicht (alle 100 Stunden ± 10 Stunden reinigen) und die Produktion ist eingeschränkt.

Anwendung: Feinkörniges WC-Ni-Pulver (D50 = 80 µm ± 0,1 µm), verwendet für chemische Pumpenkörper.

Luftstrom-Sprühtrockner:

Funktionsprinzip: Zur Zerstäubung wird Druckluft (0,2–0,4 MPa ± 0,01 MPa) mit der Aufschlämmung vermischt, zum Trocknen wird Heißluft (180–280 °C ± 5 °C) verwendet.

Merkmale:

Partikelgröße: 20–80 µm ± 0,1 µm, Sphärizität > 90 % ± 2 %.

Leistung: 30–300 kg/h ± 5 kg/h.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vorteile: Geeignet für feine Pulverdispersion (anfängliche Partikelgröße $<1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), Partikelgleichmäßigkeit $> 96 \% \pm 1 \%$, geeignet für hohe Reinheitsanforderungen ($O < 0,03 \% \pm 0,005 \%$).

Nachteile: hoher Energieverbrauch ($>80 \text{ kWh/t} \pm 5 \text{ kWh}$), erhöhte Kosten für die Luftkompression.
- Pulvergranulation ($D_{50} = 30 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$), verwendet für PCB-Bohrer.

Zweistoff-Sprühtrockner:

Funktionsprinzip: Flüssigkeit und Druckluft werden durch eine Zweistoffdüse gemeinsam zerstäubt ($0,1\text{--}0,3 \text{ MPa} \pm 0,01 \text{ MPa}$) und mit heißer Luft ($200\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) getrocknet.

Merkmale:

Partikelgröße: $10\text{--}100 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, Sphärizität $> 92 \% \pm 2 \%$.

Leistung: $50\text{--}400 \text{ kg/h} \pm 5 \text{ kg/h}$.

Vorteile: Die zerstäubte Partikelgröße ist steuerbar (eingestellt durch das Gas-Flüssigkeits-Verhältnis), geeignet für Schlämme mit hohem Feststoffgehalt ($> 30 \% \pm 1 \%$).

Nachteile: Die Ausrüstung ist komplex und erfordert häufige Wartung (Kontrolle der Düse alle 200 Stunden ± 20 Stunden).

- Mischpulvergranulation ($D_{50}=60 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$), wird für verschleißfeste Formen verwendet.

Labor-Kleinsprühtrockner:

Funktionsprinzip: Kleine Zentrifugal- oder Druckkonstruktion (Drehzahl $5000\text{--}10000 \text{ U/min} \pm 50 \text{ U/min}$, Druck $0,1\text{--}0,2 \text{ MPa} \pm 0,01 \text{ MPa}$), Heißluft $150\text{--}200 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Merkmale:

Partikelgröße: $20\text{--}80 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, Leistung $0,5\text{--}5 \text{ kg/h} \pm 0,1 \text{ kg/h}$.

Vorteile: Geeignet für F&E und Probeproduktion, flexible Parametereinstellung (Temperatur $\pm 5^\circ\text{C}$, Durchflussrate $\pm 0,1 \text{ L/h}$).

Nachteile: geringe Leistung und hohe Kosten (Gerätepreis $> 5000 \text{ USD} \pm 500 \text{ USD}$).

in kleinen Chargen ($D_{50} = 40 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$).

(4) Einflussfaktoren

Eigenschaften der Gülle:

Partikelgröße: Ausgangspulver $<1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ bildet leicht gleichmäßige Partikel; $>5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ führt zu groben oder unregelmäßigen Partikeln.

Viskosität: $200\text{--}800 \text{ mPa}\cdot\text{s} \pm 50 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ sind optimal; $>1000 \text{ mPa}\cdot\text{s} \pm 50 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ verstopft die Düse.

Bindemitteltyp:

PVA ($2 \% \pm 0,1 \%$) erhöht die Festigkeit ($> 12 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$), weist jedoch eine hohe Hygroskopizität auf ($> 2 \% \pm 0,2 \%$).

PEG ($2 \% \pm 0,1 \%$) verbesserte die Fließfähigkeit ($<20 \text{ s/50 g} \pm 2 \text{ s}$), der Kohlenstoffrückstand war jedoch etwas höher ($<0,15 \% \pm 0,01 \%$).

Paraffinwachs ($1 \% \text{--} 2 \% \pm 0,1 \%$) ist für die Fließfähigkeit nach dem Trocknen geeignet, ist jedoch sehr flüchtig ($> 80 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$).

Umweltbedingungen:

Luftfeuchtigkeit $<50 \% \text{ RH} \pm 5 \%$, Temperatur $<30 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, um eine vorzeitige Verflüchtigung des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bindemittels oder eine Feuchtigkeitsaufnahme der Partikel zu vermeiden.

Ausstattungs-faktoren:

Düsenverschleiß (Lebensdauer < 500 Stunden \pm 50 Stunden) führt zu ungleichmäßigen Tröpfchen und erfordert einen regelmäßigen Austausch.

(5) Optimierungsstrategie

Schlammaufbereitung:

μm , Viskosität 300–500 $\text{mPa}\cdot\text{s} \pm 50 \text{ mPa}\cdot\text{s}$) hergestellt .

Ultraschalldispersion (40 kHz \pm 1 kHz, 10 min \pm 1 min), Agglomerationsrate < 5 % \pm 1 %.

Anpassung der Prozessparameter:

Die Zufuhrkonzentration beträgt 25 % \pm 1 % , die Einlasslufttemperatur beträgt 220 °C \pm 5 °C , der Zerstäubungsdruck beträgt 0,2 MPa \pm 0,01 MPa und die Partikelgröße beträgt 50–80 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$.
Bindemittel: 2 % \pm 0,1 % PVA + 1 % \pm 0,1 % PEG, Festigkeit > 12 MPa \pm 1 MPa, Fließfähigkeit < 20 s/50 g \pm 2 s.

Gerätewartung:

Reinigen Sie die Düse (einmal pro Woche, verwenden Sie Ethanol, Reinheit >99,5 % \pm 0,1 %), um ein Verstopfen zu verhindern.

Ersetzen Sie die Zerstäuberscheibe oder Düse (alle 500 Stunden \pm 50 Stunden), die Geschwindigkeitsabweichung beträgt <5 % \pm 1 %.

Nachbearbeitung:

Sieb (100–150 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) zum Entfernen übergroßer Partikel (<5 % \pm 1 %).

Vakuumtrocknung (80°C \pm 2°C, <10⁻² Pa \pm 10⁻³ Pa , 4-6 Stunden \pm 0,5 Stunden), Restwasser <0,1% \pm 0,01%.

(6) Anwendungseffekt

Fließfähigkeit und Kompressionseigenschaften:

Fließfähigkeit <20 s/50 g \pm 2 s, Grünkörperdichte >60 % \pm 1 % (theoretische Dichte), Pressfehler <1 % \pm 0,2 %.

Beispiel: WC-10 % Co (D50 = 50 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) , Lebensdauer des Rohlings für Luftfahrtwerkzeuge > 15 Stunden \pm 1 Stunde.

Sinterleistung:

Dichte > 99 % \pm 0,1 % , Porosität < 0,05 % \pm 0,01 % , Härte HV > 2900 \pm 50, Biegefestigkeit > 4200 MPa \pm 100 MPa.

Beispiel: WC-12 % Ni (D50 = 80 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) , chemische Lebensdauer des Pumpenkörpers > 2 Jahre \pm 0,2 Jahre.

Konsistenz:

Die Partikelgrößenabweichung zwischen den Chargen beträgt <5 % \pm 1 % , die Gleichmäßigkeit beträgt >95 % \pm 1 % und die Sinterdefekte werden um 50 % \pm 5 % reduziert.

(7) Prüfung und Qualitätskontrolle

Partikelgrößenverteilung: Laser-Partikelgrößenanalyse (GB/T 19077.1-2008), D50 50-100 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, (D90-D10)/D50 <1,5 \pm 0,1.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Morphologische Analyse: SEM (GB/T 16594-2008), Sphärizität $> 90 \% \pm 2 \%$, Agglomerationsrate $< 5 \% \pm 1 \%$.

Feuchtigkeitsgehalt: Karl-Fischer-Methode (GB/T 6283-2008), Restwasser $< 0,2 \% \pm 0,05 \%$.

Festigkeitsprüfung: Druckfestigkeit (GB/T 3851-2015), $> 10 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$.

Restkohlenstofferkennung : Infrarotabsorptionsmethode (GB/T 5124-2017), Restkohlenstoff $< 0,1 \% \pm 0,01 \%$.

Online-Überwachung: Infrarot-Wärmebildung überwacht die Ansauglufttemperatur (Abweichung $< 5 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$), und ein Durchflussmesser überwacht die Zufuhr (Abweichung $< 1 \% \pm 0,1 \%$).

Die Sprühtrocknungs- und Granulierungstechnologie wandelt feine Pulver wie WC und Co durch Zerstäubung (Druck $0,2\text{--}0,25 \text{ MPa} \pm 0,01 \text{ MPa}$) und Hochtemperaturtrocknung ($200\text{--}250 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$) in $20\text{--}150 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,1 \text{ } \mu\text{m}$ große Partikel um, wodurch die Fließfähigkeit ($< 20 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 2 \text{ s}$) und die Grünkörperfestigkeit ($> 10 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$) deutlich verbessert werden. Zu den Gerätetypen gehören Zentrifugen (hohe Leistung, $100\text{--}1000 \text{ kg/h} \pm 10 \text{ kg/h}$), Druckmaschinen (hohe Sphärizität, $50\text{--}500 \text{ kg/h} \pm 5 \text{ kg/h}$), Luftstrommaschinen (feine Partikel, $30\text{--}300 \text{ kg/h} \pm 5 \text{ kg/h}$), Zweiflüssigkeitsmaschinen (kontrollierbare Partikelgröße, $50\text{--}400 \text{ kg/h} \pm 5 \text{ kg/h}$) und kleine Labormaschinen (für Forschung und Entwicklung, $0,5\text{--}5 \text{ kg/h} \pm 0,1 \text{ kg/h}$), jede mit ihren eigenen einzigartigen Vorteilen. Durch Optimierung der Zufuhrkonzentration ($25\text{--}30 \% \pm 1 \%$), der Bindemitteldosierung ($2\text{--}3 \% \pm 0,1 \%$) und der Geräewartung können Partikelgleichmäßigkeit ($> 95 \% \pm 1 \%$) und Sinterleistung (Dichte $> 99 \% \pm 0,1 \%$) sichergestellt werden. Es wird häufig in High-End-Bereichen wie Luftfahrtwerkzeugen (Lebensdauer $> 15 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$), chemischen Geräten (Lebensdauer $> 2 \text{ Jahre} \pm 0,2 \text{ Jahre}$) usw. verwendet.

4.4 Pulvercharakterisierung

Pulvercharakterisierung Die Qualität des Mischpulvers wird anhand der Fisher-Partikelgröße (FSSS, $0,250 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$), der Schüttdichte, der Stampfdichte ($4,06,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) und der Fließfähigkeit ($1316 \text{ Sekunden}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$) bewertet, um die Sinterleistung (Dichte $> 99 \% \pm 0,1 \%$, Härteabweichung $< \pm 30 \text{ HV}$) sicherzustellen. Die Charakterisierungsmethode basiert auf der Partikeldynamik (Stokes-Sedimentation, Hagen-Poiseuille -Strömung) und entspricht den Normen ISO 4499 und ASTM B330.

4.4.1 Fisher-Partikelgröße (FSSS, $0,250 \text{ } \mu\text{m}$)

Der Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS) ist eine traditionelle Methode zur Bestimmung der durchschnittlichen Größe von Pulverpartikeln mittels Luftdurchlässigkeit. Sie wird häufig zur Partikelgrößenanalyse von Hartmetall-Rohstoffen (wie Wolframcarbidpulver WC) verwendet. Sie basiert auf der Beziehung zwischen dem Luftwiderstand der Pulverschicht und der Partikelgröße. Durch Messung der Luftdurchlässigkeit unter einem bestimmten Druck wird die durchschnittliche Partikelgröße (normalerweise in Mikrometern) berechnet. Die Fisher-Partikelgröße eignet sich für feine Partikel ($0,1\text{--}50 \text{ } \mu\text{m}$). Die Ergebnisse spiegeln die Oberfläche und die Poreneigenschaften

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

des Pulvers wider und sind wichtige Referenzwerte für die Sinterleistung und das Pressverhalten von Hartmetall.

Charakterisierungsmethoden und Bedeutung Fisher

Die Partikelgröße (FSSS) wurde mit der Luftdurchlässigkeitsmethode gemessen, um die durchschnittliche Partikelgröße des Pulvers ($0,250 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) basierend auf dem Darcy-Gesetz (Durchlässigkeit $\sim 10^{-12} \text{m}^2 \pm 10^{-13} \text{m}^2$) zu bestimmen. Die FSSS des gemischten Pulvers mit $10\% \pm 1\% \text{Co}$ beträgt $0,55 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, WC $0,33 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ und Co $0,51 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$. Feine FSSS ($<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) verbessern die Härte ($\text{HV} > 2200 \pm 30$), und große Partikel ($> 5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) erhöhen die Zähigkeit ($K_{1c} > 18 \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$). Testbedingungen: Probenmasse $5 \text{g} \pm 0,1 \text{g}$, Druck $0,1 \text{MPa} \pm 0,01 \text{MPa}$, Luftreinheit $> 99,9\% \pm 0,01\%$, Fehler $< 2\% \pm 0,5\%$.

Beispielsweise wird FSSS-Pulver $0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ für Schneidwerkzeuge in der Luftfahrt verwendet (Verschleiß $< 0,08 \text{mm} \pm 0,02 \text{mm}$), Härte $\text{HV} 2300 \pm 30$, Lebensdauer $> 15 \text{h} \pm 1 \text{h}$; FSSS $5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ wird für Bohrkronen im Bergbau verwendet ($K_{1c} 20 \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$), Lebensdauer $> 1200 \text{m} \pm 100 \text{m}$.

Einflussfaktoren und Optimierung

Die FSSS-Messung wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

Pulverzusammensetzung: WC/Co=90:10 $\pm 1\%$, FSSS $0,5\mu\text{m}\pm 0,01\mu\text{m}$; WC/Ni=88:12 $\pm 1\%$, FSSS $1\mu\text{m}\pm 0,01\mu\text{m}$, da die Ni-Partikelgröße größer ist ($>2\mu\text{m}\pm 0,01\mu\text{m}$).

Kugelmahlzeit: $12 \text{h} \pm 0,1 \text{h}$, FSSS um $10\% \pm 2\%$ ($0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) verringert; $> 24 \text{h}$ erhöhte Agglomeration ($> 5\% \pm 1\%$) und FSSS um $5\% \pm 1\%$ erhöht.

Additive: $0,5\% \pm 0,01\% \text{VC}$ reduziert FSSS um $5\% \pm 1\%$ ($0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), Cr_3C_2 beeinflusst $< 2\% \pm 0,5\%$.

Umgebungsfeuchtigkeit: $< 50\% \pm 5\%$, Agglomeration vermeiden ($< 5\% \pm 1\%$), FSSS-Fehler $< 1\% \pm 0,2\%$.

Gerätekalibrierung: Porositätsfehler des FSSS-Instruments $< 0,1\% \pm 0,02\%$, Fehlerreduzierung $1\% \pm 0,2\%$.

Beispielsweise wird FSSS $0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (12 Stunden Nassschleifen, $0,5\% \pm 0,01\% \text{VC}$) Pulver für PCB-Bohrer verwendet (Lebensdauer $> 10^5$ Löcher $\pm 10^4$ Löcher).

Fishers Partikelgröße (FSSS) technische Anwendung

Superharte Schneidwerkzeuge

FSSS $0,20,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Härte $\text{HV} > 2300 \pm 30$, Lebensdauer der Luftfahrtverarbeitung > 15 Stunden ± 1 Stunde.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bergbau

FSSS $35 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, $K_{1c} > 20 \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, Bohrlebensdauer $> 1200 \text{m} \pm 100 \text{m}$.

4.4.2 Schüttdichte, Klopfdichte und Fließfähigkeit von Wolframcarbidpulver

Die Schüttdichte, Klopfdichte und Fließfähigkeit von Wolframcarbidpulver (WC) sind wichtige Indikatoren für seine physikalischen Eigenschaften, die sich direkt auf das Press- und Sinterverhalten von Hartmetall und die Leistung des Endprodukts auswirken. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse hinsichtlich Definition, Messmethode, Einflussfaktoren, Optimierungsmaßnahmen und technischer Anwendung.

Schüttdichte von Wolframcarbidpulver

Unter der losen Dichte versteht man die Dichte des Pulvers in seinem natürlichen Stapelzustand, die die Stapel­eigenschaften und die Porosität des Pulvers widerspiegelt.

Messmethode

Gemäß ASTM B212 wurden $50 \text{g} \pm 0,1 \text{g}$ Pulver frei in einen Standardmesszylinder (Volumen $25 \text{ml} \pm 0,1 \text{ml}$) getropft und das Verhältnis von Masse zu Volumen berechnet.

Typischer Wert

Die Schüttdichte von reinem WC-Pulver beträgt $4,0\text{--}5,0 \text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$, und die Porosität beträgt etwa $40 \% \pm 2 \%$. Die Schüttdichte von WC-Co-Mischpulver mit $10 \% \pm 1 \% \text{Co}$ beträgt etwa $4,5 \text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$, da die Dichte von Co ($8,9 \text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$) höher ist als die von WC ($15,63 \text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$), und sich die Stapel­eigenschaften nach dem Mischen ändern.

Bedeutung

Die hohe Schüttdichte ($> 4,5 \text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$) weist auf eine enge Partikelanordnung hin und die geringe Porosität des gepressten Grünkörpers ($< 40 \% \pm 2 \%$) ist günstig für die Sinterverdichtung ($> 99 \% \pm 0,1 \%$).

Klopfdichte von Wolframcarbidpulver

Unter Klopfdichte versteht man die Dichte des Pulvers im dicht gepackten Zustand nach Vibration oder Klopfen, die die Fülleffizienz zwischen den Partikeln widerspiegelt.

Messmethode

Gemäß ASTM B527 wurde die Volumenänderung des Pulvers mit einem Klopfdichtemessgerät gemessen (Vibrationsfrequenz $50 \text{Hz} \pm 1 \text{Hz}$, Amplitude $1 \text{mm} \pm 0,1 \text{mm}$, Vibration $3000\text{-mal} \pm 50\text{-mal}$).

Typischer Wert

Die Klopfdichte von reinem WC-Pulver beträgt $5,0\text{--}6,2 \text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$, und die Porosität ist auf $30 \% \pm 2 \%$ reduziert. Die Klopfdichte von Mischpulver mit $10 \% \pm 1 \% \text{Co}$ beträgt etwa $5,5 \text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$.

Bedeutung

Die hohe Klopfdichte ($> 5,5 \text{g/cm}^3 \pm 0,1 \text{g/cm}^3$) zeigt an, dass die Partikel weiter gefüllt werden können, der Pressling eine gute Konsistenz aufweist (Maßabweichung $< 0,01 \text{mm} \pm 0,002 \text{mm}$) und die Eigenschaften nach dem Sintern stabil sind (Härte $\text{HV} > 2900 \pm 50$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beispiel: Die Stampfdichte des Pulvers beträgt $5,8 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$. Nach dem Pressen beträgt die Grünkörper-Größenabweichung $<0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$. Das Flugzeugwerkzeug wird mit einer Härte von $\text{HV } 2200 \pm 30$ und einer Lebensdauer von $>12 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$ gefertigt.

Fließfähigkeit von Wolframcarbidpulver

Die Fluidität spiegelt die Fließfähigkeit des Pulvers während der Verdichtung wider und beeinflusst die Gleichmäßigkeit der Formfüllung und die Produktqualität.

Messmethode

Gemäß ASTM B213 wurde mit einem Hall-Durchflussmesser (Trichteröffnung $5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$) die Zeit gemessen, die $50 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ Pulver benötigen, um den Trichter zu passieren. Das Fließverhalten entspricht dem Hagen-Poiseuille-Gesetz, und der Viskositätswiderstand beträgt ca. $10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s} \pm 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

Typischer Wert

Die Fließfähigkeit von WC-Pulver beträgt $13\text{--}16 \text{ Sekunden}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$, und die Fließfähigkeit von Mischpulver mit $10 \% \pm 1 \% \text{ Co}$ beträgt etwa $14 \text{ Sekunden}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$.

Bedeutung

Hervorragende Fließfähigkeit ($<14 \text{ Sek.}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ Sek.}$) gewährleistet eine gleichmäßige Formfüllung, eine Dichte nach dem Sintern von $>99,5 \% \pm 0,1 \%$ und reduziert Formfehler (Risse $<1 \% \pm 0,2 \%$).

Beispiel: Das Pulver mit einer Fließfähigkeit von $13 \text{ Sekunden}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$ weist nach dem Verpressen eine Gleichmäßigkeit von $>98 \% \pm 1 \%$ auf und wird mit einer Maßabweichung von $<0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$ zur Werkzeugherstellung verwendet.

Einflussfaktoren und Optimierung der Wolframcarbidpulverpartikelgröße

Partikelgröße (Freshman Size Sizing, FSSS):

- Partikelgröße beträgt $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, die Van-der-Waals-Kraft zwischen den Partikeln wird verstärkt ($>10^{-9} \text{ N} \pm 10^{-10} \text{ N}$), die Schüttdichte sinkt auf $4,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ und die Fließfähigkeit nimmt um $2 \text{ Sekunden} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$ ab ($16 \text{ Sekunden}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$). Wenn die Fisher-Partikelgröße $>5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ beträgt, verringert sich der Abstand zwischen den Partikeln, die Schüttdichte steigt auf $5,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ und die Fließfähigkeit steigt um $1 \text{ Sekunde} \pm 0,2 \text{ Sekunden}$ an ($13 \text{ Sekunden}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$).

Optimierung: Kontrollieren Sie die Partikelgröße der Glasfaser auf $0,5\text{--}3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ und gleichen Sie Dichte und Fließfähigkeit aus (lose Dichte $4,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, Fließfähigkeit $14 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ s}$).

Aussehen:

Sphärische Partikel (Sphäroidisierungsrate $> 95 \% \pm 1 \%$) haben einen niedrigen Oberflächenreibungskoeffizienten ($< 0,2 \pm 0,02$), eine um $5 \% \pm 1 \%$ erhöhte Klopfdichte ($6,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) und eine um $3 \% \pm 0,5 \%$ erhöhte Fluidität ($13 \text{ Sekunden}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$). Unregelmäßige Partikel (Kanten $> 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) haben große Stapellücken und eine um $3 \% \pm 0,5 \%$ verringerte Klopfdichte ($5,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$).

Zur Verbesserung der Konsistenz der Partikelmorphologie wurde eine Sprühtrocknungsgranulation

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Partikelgröße $50 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, Sphärizität $> 90 \% \pm 2 \%$) eingesetzt.

Co-Inhalt:

Bei einem Co-Gehalt von $10 \% \pm 1 \%$ beträgt die Klopfdichte $5,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ und die Fluidität $14 \text{ s/50 g} \pm 0,5 \text{ s}$. Bei einem Co-Gehalt von $>15 \% \pm 1 \%$ sind die Co-Partikel (Dichte $8,9 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) ungleichmäßig verteilt, die Klopfdichte sinkt auf $5,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ und die Fluidität verringert sich um $1 \text{ s} \pm 0,2 \text{ s}$ ($15 \text{ s/50 g} \pm 0,5 \text{ s}$).

Optimierung: Der Co-Gehalt wird auf $8\text{--}12 \% \pm 1 \%$ geregelt, um optimale Dichte und Fließfähigkeit sicherzustellen (Rütteldichte $5,5\text{--}5,8 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, Fließfähigkeit $< 14 \text{ Sekunden/50 g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$).

Luftfeuchtigkeit:

Bei einer Umgebungsfeuchtigkeit von $<50 \% \pm 5 \% \text{ RH}$ beträgt die Fließfähigkeit $14 \text{ Sek./50 g} \pm 0,5 \text{ Sek.}$. Bei einer Luftfeuchtigkeit von $>80 \% \pm 5 \% \text{ RH}$ erhöht sich durch Wasseraufnahme die Agglomerationsrate um $10 \% \pm 2 \%$ und die Fließfähigkeit verringert sich um $2 \text{ Sek.} \pm 0,5 \text{ Sek.}$ ($16 \text{ Sek./50 g} \pm 0,5 \text{ Sek.}$).

Optimierung: Die Luftfeuchtigkeit in der Verarbeitungsumgebung wird auf $40\text{--}50 \% \pm 5 \%$ relative Luftfeuchtigkeit geregelt und das Pulver auf einen Feuchtigkeitsgehalt von $<0,1 \% \pm 0,01 \%$ getrocknet (Karl-Fischer-Methode, GB/T 6283-2008).

Granulationsprozess:

Durch die Sprühtrocknungsgranulierung (Partikelgröße $50 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, Sphärizität $> 90 \% \pm 2 \%$) wurde die Klopfdichte um $10 \% \pm 2 \%$ ($6,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$) und die Fließfähigkeit um $5 \% \pm 1 \%$ ($13 \text{ Sekunden/50 g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$) erhöht . Das ungranulierte Pulver (ursprüngliche Partikelgröße $< 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) war stark agglomeriert, und die Klopfdichte betrug nur $5,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

Optimierung: Verwenden Sie einen Zentrifugal-Sprühtrockner (Rotationsgeschwindigkeit $10.000\text{--}15.000 \text{ U/min} \pm 50 \text{ U/min}$), Partikelgröße $50\text{--}80 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, fügen Sie $2 \% \pm 0,1 \%$ PVA-Bindemittel hinzu .

Aus einem Pulver mit $10 \% \pm 1 \% \text{ Co}$, Fisher-Partikelgröße $1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, sprühgetrocknete Partikel ($50 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$) , Stampfdichte $6,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, Fließfähigkeit $13 \text{ Sekunden/50 g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$, Dichte nach dem Pressen $> 99,5 \% \pm 0,1 \%$, wurde ein Bergbaubohrer mit einer Lebensdauer von $> 1200 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$ hergestellt.

Technische Anwendung

Fliegermesser:

Klopfdichte $5,8 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, Fließfähigkeit $13 \text{ Sekunden/50 g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$, Größenabweichung des gepressten Grünkörpers $<0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, Härte nach dem Sintern $\text{HV } 2200 \pm 30$, Lebensdauer $> 12 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$, geeignet für die Materialverarbeitung in der Luftfahrt (Ti-6Al-4V-Legierung, $1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$).

Bergbaubohrer:

Klopfdichte $6,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, Fließfähigkeit $13 \text{ Sekunden/50 g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$, Sinterdichte $> 99,5 \% \pm 0,1 \%$, Biegefestigkeit $> 4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, Lebensdauer $> 1200 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$, geeignet für Hartgesteinsbohrungen (Druckfestigkeit $> 200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$).

Kaltstauchmatrize:

Klopfdichte $6,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, Fließfähigkeit $14 \text{ s/50 g} \pm 0,5 \text{ s}$, Verformung nach dem Pressen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$<0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, Formlebensdauer $>10^6$ -fach $\pm 10^5$ -fach, geeignet für hochpräzises Kaltstauchen.

Prüfung und Qualitätskontrolle

Schüttdichte: Gemäß ASTM B212 wird jede Charge dreimal getestet und die Durchschnittswertabweichung beträgt $<2 \% \pm 0,5 \%$.

Klopfichte: Gemäß ASTM B527, Aufzeichnung der Vibrationsparameter (Frequenz $50 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$, Amplitude $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$), Abweichung $< 2 \% \pm 0,5 \%$.

Fließfähigkeit: Basierend auf ASTM B213, Trichteröffnungskalibrierung ($5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$), Luftfeuchtigkeit der Testumgebung $<50 \% \pm 5 \%$ relative Luftfeuchtigkeit, Abweichung $<1 \text{ Sekunde} \pm 0,2 \text{ Sekunden}$.

Online-Überwachung: Verwenden Sie ein automatisches Klopfichtemessgerät und einen Durchflussmesser, um Chargendaten in Echtzeit aufzuzeichnen und für $1 \text{ Jahr} \pm 0,1 \text{ Jahr}$ zu archivieren.

Die Schüttdichte ($4,0 - 5,0 \text{ g/cm}^3$), Klopfichte ($5,0 - 6,2 \text{ g/cm}^3$) und Fließfähigkeit ($13 - 16 \text{ Sekunden/50 g}$) von Wolframkarbidpulver sind wichtige Parameter bei der Herstellung von Hartmetall. Die Leistung wird maßgeblich von der Partikelgröße ($0,5 - 5 \mu\text{m}$), der Morphologie (Sphärität $> 95 \%$), dem Co-Gehalt ($8 - 12 \%$), der Feuchtigkeit ($< 50 \%$ relative Luftfeuchtigkeit) und dem Granulierungsprozess (Partikel $50 \mu\text{m}$) beeinflusst. Durch Optimierung der Partikelgröße, Morphologie und Prozessparameter können eine Klopfichte von $6,0 \text{ g/cm}^3$ und eine Fließfähigkeit von 13 Sekunden/50 g erreicht werden, wodurch die hohen Leistungsanforderungen von Luftfahrtwerkzeugen (Lebensdauer $> 12 \text{ Stunden}$), Bergbaubohrern (Lebensdauer $> 1200 \text{ m}$) und Kaltstauchmatrizen (Verformung $< 0,01 \text{ mm}$) erfüllt werden.

4.5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Auswahl der Rohstoffe und die Pulveraufbereitung des Hartmetalls sind die wichtigsten Faktoren bei der Leistungsoptimierung. In diesem Kapitel wird die Beziehung zwischen Prozessparametern und Leistung erläutert, indem die Synthese von Wolframkarbidpulver ($1450-1600 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, Partikelgröße $0,110 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, freier Kohlenstoff $< 0,1 \% \pm 0,01 \%$), die Bindungsphase und die Additive (Co/Ni-Reinheit $> 99,8 \% \pm 0,01 \%$, VC/ $\text{Cr}_3\text{C}_2 < 1 \% \pm 0,01 \%$), die Pulvervorbehandlung (Kugelmahlen $10:1 \pm 0,5$, Sprühtrocknungsdurchflussrate $100 \text{ l/h} \pm 10 \text{ l/h}$) und die Pulvercharakterisierung (FSSS $0,250 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Klopfichte $4,06,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, Fließfähigkeit $1316 \text{ Sekunden/50 g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$) analysiert werden:

WC-Pulver

Submikron-Partikelgröße ($<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) und hohe Reinheit (freier Kohlenstoff $<0,08 \% \pm 0,01 \%$) erhöhen die Härte ($\text{HV} > 2300 \pm 30$) für Luftfahrtwerkzeuge (Lebensdauer $> 15 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$).

Bindungsphase

Co ($10 \% \pm 1 \%$) sorgt für Zähigkeit ($K_{1c} > 1520 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) und Ni ($12 \% \pm 1 \%$) verbessert die Korrosionsbeständigkeit ($<0,01 \text{ mm/Jahr} \pm 0,002 \text{ mm/Jahr}$) und wird für Tiefseeventile

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

verwendet (Lebensdauer > 5 Jahre \pm 0,5 Jahre).

Zusatz

VC (0,5 % \pm 0,01 %) kontrolliert die WC-Partikelgröße (< 0,3 μm \pm 0,01 μm), Cr₃C₂ (0,5 % \pm 0,01 %) verbessert die Festigkeit (> 4200 MPa \pm 100 MPa) und wird für PCB-Bohrer (> 10⁵ Löcher \pm 10⁴ Löcher) verwendet .

Vorverarbeitung

Nassmahlen (12 h \pm 0,1 h) und Sprühtrocknen (250 °C \pm 5 °C) gewährleisten Gleichmäßigkeit (Abweichung < 2 % \pm 0,5 %) und Fließfähigkeit (13 s/50 g \pm 0,5 s) für den Einsatz in Bergbaubohrern (Dichte > 99,5 % \pm 0,1 %).

Charakterisierung

Die FSSS (0,35 μm \pm 0,01 μm) und Klopfdichte (5,86,2 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³) sagen die Sinterqualität mit reduzierter Härteabweichung (< \pm 30 HV) voraus.

Zu den Optimierungsstrategien gehören

Genaueres W:C-Verhältnis (1:1,01 \pm 0,01), H₂-Atmosphäre (O₂ < 10 ppm \pm 1 ppm), feines Co (<1 μm \pm 0,01 μm), VC-Zugabe (0,3%0,5% \pm 0,01%), Nassmahlen (10:1 \pm 0,5, 12h \pm 0,1h) und Sprühtrocknung (60% \pm 1% Feststoffgehalt).

Beispielsweise wird Pulver mit 0,3 μm \pm 0,01 μm WC, 10 % \pm 1 % Co und 0,5 % \pm 0,01 % VC (FSSS 0,3 μm \pm 0,01 μm , Klopfdichte 6,0 g/cm³ \pm 0,1 g/cm³, Fließfähigkeit 13 Sekunden/50 g \pm 0,5 Sekunden) für Luftfahrtwerkzeuge verwendet, mit einer Härte von HV 2300 \pm 30, einem Verschleißwert von <0,08 mm \pm 0,02 mm und einer Lebensdauer von >15 Stunden \pm 1 Stunde; Pulver mit 1 μm \pm 0,01 μm WC, 12 % \pm 1 % Ni und 0,5 % \pm 0,01 % Cr₃C₂ wird für Tiefseeventile verwendet, mit einer Korrosionstiefe von <3 μm \pm 0,5 μm und einer Lebensdauer von >5 Jahren \pm 0,5 Jahren.

Zukünftige Forschungsrichtungen umfassen die Massenproduktion von Nano-WC-Pulver (<0,1 μm \pm 0,01 μm) (Ausbeute > 5 t/Charge \pm 0,5 t), grüner Bindephase (auf Fe-Basis, Kosten < 1000 \$/t \pm 100 USD), neuen Inhibitoren (wie TaC, < 0,5 % \pm 0,01 %) und intelligenter Charakterisierung (KI-Vorhersage von FSSS, Fehler < 1 % \pm 0,2 %), um den Anforderungen der Luftfahrt (Schnittgeschwindigkeit > 500 m/min \pm 10 m/min), der Tiefsee (> 10.000 m) und neuer Energien (Lebensdauer des Elektrolyseurs > 10⁴ Stunden \pm 10³ Stunden) gerecht zu werden. Dieses Kapitel bietet eine Prozessgrundlage für die Formung und das Sintern in Kapitel 5, indem es den Beitrag der WCCo- Phase mit der Leistung in Kapitel 3 korreliert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang: Referenztable zur Auswahl von Hartmetallprodukten und Wolframkarbidpulver

Produkt Typ	Produkt Beispiel	Leistungsanforderungen	Eigenschaften von WC-Pulver	Parameter zur Auswahl von WC-Pulver	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
Schneiden Klinge	Drehplatten, Fräsplatten, Stechplatten	Hohe Härte (HRA 8993 ±0,5), hervorragende Verschleißfestigkeit (Flankenverschleiß VB <0,3 mm), Absplitterungsbeständigkeit (Absplitterungstiefe <0,15 mm), Oberflächenrauheit Ra <0,8 μm	Feinkörnig (0,51,5 μm ±0,1 μm), hohe Reinheit (>99,95%), niedriger Sauerstoffgehalt (<0,1% ±0,01%), gleichmäßige Partikelverteilung (D50 ±0,1 μm)	Partikelgröße: 0,51,5 μm ±0,1 μm, Reinheit: >99,95% ±0,01%, Kohlenstoffgehalt: 6,13%6,18% ±0,01%, Co-Gehalt: 6%12% ±0,5%, Additive: TiC / TaC (0%2% ±0,1%)	Stahl-, Edelstahl-, Gusseisenverarbeitung Schnittgeschwindigkeit 100–400 m/min ±10 m/min	Feinkörniges WC-Pulver sorgt für hohe Härte und Verschleißfestigkeit, TiC / TaC verbessert die Leistung bei hohen Temperaturen und der Co-Gehalt gleicht Zähigkeit und Härte aus; geeignet für Einsätze vom Typ ISO P/M/K.
Gesamtwerkzeug	Bohrer, Schaftfräser, Reibahlen	Hohe Biegefestigkeit (2000–3000 MPa ± 100 MPa), hervorragende Zähigkeit (Bruchzähigkeit 812 MPa·m ^{1/2} ± 0,5), Schlagfestigkeit (Schlagzähigkeit > 10 J/cm ² ± 1 J/cm ²)	Mittelfeine Körnung (1,02,0 μm ±0,1 μm), hohe Reinheit (>99,9% ±0,01%), moderater Sauerstoffgehalt (<0,15% ±0,01%), stabile chemische Zusammensetzung	Partikelgröße: 1,02,0 μm ±0,1 μm, Reinheit: >99,9% ±0,01%, Kohlenstoffgehalt: 6,10%6,15% ±0,01%, Co-Gehalt: 8%15% ±0,5%, Additive: VC/ Cr ₃ C ₂ (0,1%0,5% ±0,05%)	Formstahl, Aluminiumlegierungsverarbeitung, Bohr-/Frästiefe <20 mm ±1 mm	Mittelfeinkörniges WC verbessert die Zähigkeit, VC/ Cr ₃ C ₂ kontrolliert das Kornwachstum und gewährleistet die Gesamtfestigkeit des Werkzeugs; geeignet für Verarbeitungsumgebungen mit hoher Belastung.
Drahtziehsteine	Drahtziehwerkzeug, Extrusionswerkzeug	Sehr hohe Verschleißfestigkeit (Verschleißrate < 0,01 mm ³ /h ± 0,001 mm ³ /h), hohe Oberflächengüte (Ra < 0,05 μm), Korrosionsbeständigkeit (Säure- und Laugenbeständigkeit pH 310)	Ultrafeine Körnung (0,20,8 μm ±0,1 μm), ultrahohe Reinheit (>99,98% ±0,01%), extrem niedriger Sauerstoffgehalt (<0,05% ±0,01%), hohe Gleichmäßigkeit	Partikelgröße: 0,20,8 μm ±0,1 μm, Reinheit: >99,98% ±0,01%, Kohlenstoffgehalt: 6,15%6,20% ±0,01%, Co-Gehalt: 3%6% ±0,5%, Additive: kein oder geringe Menge TaC	Kupfer- und Stahldrahtziehen, Drahtdurchmesser 0,15 mm ± 0,01 mm	WC mit ultrafeinen Körnern sorgt für Hochglanz und Verschleißfestigkeit, ein niedriger Co-Gehalt erhöht die Härte; die Pulverreinheit muss streng kontrolliert werden, um Verunreinigungen zu vermeiden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Produkt Typ	Produkt Beispiel	Leistungsanforderungen	Eigenschaften von WC-Pulver	Parameter zur Auswahl von WC-Pulver	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
				(<0,5% ±0,05%)		
Stanzform	Kaltstauchmatrize, Stanzmatrize	Hohe Druckfestigkeit (>4000 MPa ±100 MPa), Schlagzähigkeit (Schlagzahl >10 ⁶ ±10 ⁴), Dauerfestigkeit (Dauerfestigkeit >1000 MPa ±50 MPa)	Mittelgrobkörnig (2,04,0 μm ±0,2 μm), hohe Reinheit (>99,9% ±0,01%), Kohlenstoffgehalt: moderater Sauerstoffgehalt (<0,2% ±0,01%), hohe Stabilität	Partikelgröße: 2,04,0 μm ±0,2 μm, Reinheit: >99,9% ±0,01%, Kohlenstoffgehalt: 6,08%±6,13% ±0,01%, Co-Gehalt: 10%±20% ±0,5%, Additive: Cr ₃ C ₂ (0,2%±1% ±0,05%)	Bolzen, Blechstannteile, Dicke <10 mm ±0,1 mm	Mittelgrobkörniges WC verbessert die Schlagfestigkeit, ein hoher Co-Gehalt steigert die Zähigkeit und Cr ₃ C ₂ hemmt das Kornwachstum; geeignet für Formen mit hoher Beanspruchung.
Verschleißfeste Teile	Düse, Dichtring, Oberhammer	Hohe Verschleißfestigkeit (Verschleißverlust <0,005 mm ³ / N · m ± 0,001 mm ³ / N · m), Korrosionsbeständigkeit (Lebensdauer >5000 h ±100 h), thermische Stabilität (<800°C ±10°C)	Grobkorn (3,06,0 μm ±0,5 μm), hohe Reinheit (>99,8% ±0,01%), hoher Sauerstoffgehalt (<0,3% ±0,01%), hohe chemische Stabilität	Partikelgröße: 3,06,0 μm ±0,5 μm, Reinheit: >99,8% ±0,01%, Kohlenstoffgehalt: 6,05%±6,10% ±0,01%, Co-Gehalt: 12%±25% ±0,5%, Additive: kein oder geringe Menge Ni (<2% ±0,1%)	Sandstrahlen, Bergbau, Versiegelung, Arbeitsdruck <50 MPa ±1 MPa	Grobkörniges WC verbessert die Verschleißfestigkeit und Zähigkeit, und ein hoher Co- oder Ni-Gehalt verbessert die Korrosionsbeständigkeit; geeignet für verschleißfeste Teile unter extremen Arbeitsbedingungen.
Bergbauwerkzeuge	Spitzhacken, Gesteinsbohrer	Sehr hohe Schlagzähigkeit (Schlagzähigkeit > 15 J/cm ² ± 1 J/cm ²), Verschleißfestigkeit (Verschleißrate < 0,02 mm ³ /h ± 0,002 mm ³ /h), Ermüdungsbeständigkeit	Ultragrobes Korn (6,010,0 μm ±1,0 μm), hohe Reinheit (>99,7% ±0,01%), hoher Sauerstoffgehalt (<0,4% ±0,01%), hohe Zähigkeit	Partikelgröße: 6,010,0 μm ±1,0 μm, Reinheit: >99,7% ±0,01%, Kohlenstoffgehalt: 6,00%±6,10% ±0,01%, Co-Gehalt: 15%±30% ±1%, Zusätze: keine oder geringe Menge CoNi-	Kohlebergbau, Hartgesteinsabbau, Schlagfrequenz <100 Hz ±5 Hz	Ultragrobkörniges WC bietet eine hohe Zähigkeit und ein hoher Co-Gehalt verbessert die Schlagfestigkeit. Es eignet sich für Bergbauumgebungen mit hoher Belastung und der Sauerstoffgehalt muss kontrolliert werden, um eine Versprödung zu verhindern.

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

Produkt Typ	Produkt Beispiel	Leistungsanforderungen	Eigenschaften von WC-Pulver	Parameter zur Auswahl von WC-Pulver	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
				Legierung (<5% ±0,2%)		
Präzisionsteile	Mikrowerkzeuge, Ventilkern	Hohe Präzision (Maßtoleranz ±0,005 mm), hervorragende Oberflächengüte (Ra <0,02 µm), hohe Härte (HRA 9294 ±0,5)	Nanokristalle (0,10,4 µm ±0,05 µm), ultrahohe Reinheit (>99,99% ±0,01%), extrem niedriger Sauerstoffgehalt (<0,03% ±0,01%) und extrem hohe Gleichmäßigkeit	Partikelgröße: 0,10,4 µm ±0,05 µm, Reinheit: >99,99%, Kohlenstoffgehalt: 6,18%±0,22%, Co-Gehalt: ±0,01%, VC (0,05%±0,2%)	Verarbeitung elektronischer Teile, Flüssigkeitskontrolle, Größe <10 mm ±0,1 mm	Nanokristallines WC sorgt für ultrahohe Härte und Glätte, niedrige Co- und VC-Werte kontrollieren das Kornwachstum; hochreines Pulver ist erforderlich, um Defekte zu vermeiden.

Referenztable zur Auswahl von Hartmetallprodukten und Produktionsprozessen

Produkt Typ	Produktbeispiele	Leistungsanforderungen	Empfohlenes Pressverfahren	Empfohlenes Knotenhandwerk	Prozessparameter	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
Schneideinsätze	Drehplatten, Fräsplatten, Stechplatten	Hohe Härte (HRA 8993 ±0,5), Verschleißfestigkeit (Flankenverschleiß VB <0,3 mm), Abplatzfestigkeit (Abplatztiefe <0,15 mm), Oberflächenrauheit Ra <0,8 µm	Bidirektionales Formpressen, kaltisostatisches Pressen	Vakuumsintern, Niederdruck sintern	Pressen: Druck 100–250 MPa ± 10 MPa, Zeit 1040 s ± 1 s, Grünkörperdichte 60–75 % ± 2 % (bidirektionales Formen); Druck 100–300 MPa ± 10 MPa, Haltedruck 15 min ± 10 s, Grünkörperdichte 70–85 % ± 1 % (CIP) < br >Sintern: Temperatur 135–1500 °C ± 10 °C, Haltetemperatur 14 h ± 5 min, Vakuumgrad 0,01–0,1 Pa ± 0,01 Pa, Dichte 98–99,5 % ± 0,5 % (Vakuum); Druck 110 MPa ± 0,05 MPa, Dichte 98,5–99,5 % ± 0,3 % (Niederdruck)	Stahl-, Edelstahl-, Gusseisenverarbeitung, Schnittdichtigkeit 100–400 m/min ± 10 m/min	Bidirektionales Formen oder CIP sorgt für gleichmäßige Dichte, Vakuum- oder Niederdrucksintern verbessert Härte und Verschleißfestigkeit; geeignet für ISO P/M/K-Klingen, Korngröße 0,51,5 µm ± 0,1 µm.
Gesamtwerkzeug	Bohrer, Schaftfräser, Reibahlen	Hohe Biegefestigkeit (2000–3000 MPa)	Strangpressen, kaltisostatisches Pressen	Heißisostatisches Pressen (HIP),	Pressen: Extrusionsdruck 20100 MPa ± 5 MPa, Geschwindigkeit 0,11 m/min ± 0,01 m/min, Barrendichte 50 % ± 5 %	Formstahl, Aluminiumlegierungsverarbeitung	Extrusionsformen eignen sich für Stangen, CIP eignet

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Produkt Typ	Produktbeispiele	Leistungsanforderungen	Empfohlenes Pressverfahren	Empfohlenes Knotenhandwerk	Prozessparameter	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
		±100 MPa), Zähigkeit (Bruchzähigkeit 812 MPa·m ^{1/2} ± 0,5), Schlagzähigkeit (Schlagzähigkeit > 10 J/cm ² ± 1 J/cm ²)		Vakuumsinterm	±2 % (Extrusion); Druck 100300 MPa ±10 MPa, Haltedruck 15 min ±10 s, Barrendichte 70 %85 % ±1 % (CIP) >Sintern: Temperatur 13001450°C ±10°C, Druck 100200 MPa ±0,1 MPa, Haltetemperatur 13 h ±5 min, Dichte 99,8 %100 % ±0,2 % (HIP); Temperatur ussel13501500°C ±10°C, Haltetemperatur 14 h ±5 min, Dichte 98%99,5% ±0,5% (Vakuum)	tung, Bohr- Frästiefe <20 mm ±1 mm	sich für komplexe Formen; HIP verbessert die Festigkeit, Vakuumsintern ist kostengünstig; der Co-Gehalt beträgt 8 % 15 % ± 0,5 %.
Drahtziehene	Drahtziehwerkzeug, Extrusionswerkzeug	Sehr hohe Verschleißfestigkeit (Verschleißrate < 0,01 mm ³ /h ± 0,001 mm ³ /h), Oberflächengüte (Ra < 0,05 μm), Korrosionsbeständigkeit (Säure- und Laugenbeständigkeit pH 310)	Pulverspritzguss, kaltisostatisches Pressen	Mikrowellen sintern, Vakuumsinterm	Pressen: Einspritzdruck 50–150 MPa ± 5 MPa, Temperatur 150–200 °C ± 5 °C, Blockschrumpfung 15–20 % ± 1 % (PIM); Druck 100–300 MPa ± 10 MPa, Haltedruck 15 min ± 10 s, Blockdichte 70–85 % ± 1 % (CIP) < br >Sintern: Temperatur 130–1450 °C ± 10 °C, Zeit 10–60 min ± 1 min, Dichte 97–99 % ± 0,5 % (Mikrowelle); Temperatur 135– 1500 °C ± 10 °C, Haltemperatur 14 h ± 5 min, Dichte 98–99,5 % ± 0,5 % (Vakuum)	Stahldrahtzieh en, Drahtdurchmes ser 0,15 mm ± 0,01 mm	PIM eignet sich für Präzisionsformen, CIP sorgt für Gleichmäßigkeit; Mikrowellensintern ist effizient, Vakuumsintern sorgt für Glätte; ultrafeines WC- Pulver 0,20,8 μm ± 0,1 μm .
Stanzform	Kaltstauchmatrize, Stanzmatrize	Hohe Druckfestigkeit (>4000 MPa ±100 MPa), Schlagzähigkeit (Schlagzahl >10 ⁶ ±10 ⁴), Dauerfestigkeit (Dauerfestigkeit >1000 MPa ±50 MPa)	Einweg- Formpressen, kaltisostatisches Pressen	Heißisostatisches Pressen (HIP), Schutzgassintern	Pressen: Druck 50200 MPa ±10 MPa, Zeit 530 s ±1 s, Grünkörperdichte 50%70% ±2% (unidirektional); Druck 100300 MPa ±10 MPa, Haltedruck 15 min ±10 s, Grünkörperdichte 70%85% ±1% (CIP) < br >Sintern: Temperatur 13001450°C ±10°C, Druck 100200 MPa ±0,1 MPa, Haltemperatur 13 h ±5 min, Dichte 99,8%100% ±0,2% (HIP); Temperatur 13501480°C ±10°C, Haltetemperatur 15 h ±5 min, Dichte 97%99% ±0,5% (Gas)	Bolzen, Blechstannteile , Dicke <10 mm ±0,1 mm	Einwegformen sind kostengünstig, CIP eignet sich für komplexe Formen; HIP verbessert die Festigkeit, Gasschutz eignet sich für große Formen; mittelgrobes Korn WC 2,04,0 μm ± 0,2 μm .
Verschleißesteile	Düse, Dichtring, Oberhammer	Hohe Verschleißfestigkeit	Rollformen, Trockensack- Isostatisches	Niederdruck sintern, Schutzgassin	Pressen: Walzendruck 50150 MPa ±10 MPa, Walzengeschwindigkeit U/min ±0,1 U/min, Blockdicke 110	Sandstrahlen, 0,55 Bergbau, Versiegelung,	Rollformen eignet sich für dünne Platten,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Produkt Typ	Produktbeispiele	Leistungsanforderungen	Empfohlenes Pressverfahren	Empfohlenes Knotenhandwerk	Prozessparameter	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
	r	(Verschleißverlust <math>t < 0,005 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,001 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}</math>), Korrosionsbeständigkeit (Lebensdauer >5000 h ± 100 h), thermische Stabilität (<math>< 800^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}</math>)	Pressen	tem	mm $\pm 0,1$ mm (Walzen); Druck 150400 MPa ± 10 MPa, Zeit 30120 s ± 5 s, Blockdichte 70%80% $\pm 1\%$ (Trockensack) < br > Sintern: Temperatur 13501450°C $\pm 10^\circ\text{C}$, Druck 110 MPa $\pm 0,05$ MPa, Isolierung 13 h ± 5 min, Dichte 98,5%99,5% $\pm 0,3\%$ (Niederdruck); Temperatur 13501480°C $\pm 10^\circ\text{C}$, Isolierung 15 h ± 5 min, Dichte 97%99% $\pm 0,5\%$ (Gas)	Druck <math>< 50 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}</math>	isostatisches Pressen im Trockensack ist effizient; Niederdrucksintern gleicht die Leistung aus, Gasschutz eignet sich für große Teile; grobkörniges WC 3,06,0 $\mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$.
Bergbauwerkzeuge	Spitzhacken, Gesteinsbohrer	Sehr hohe Schlagzähigkeit (Schlagzähigkeit > 15 J/cm ² ± 1 J/cm ²), Verschleißfestigkeit (Verschleißrate <math>< 0,02 \text{ mm}^3/\text{h} \pm 0,002 \text{ mm}^3/\text{h}</math>), Ermüdungsbeständigkeit	Einweg-Formpressen, Extrusionsformen	Schutzgassin tern, Vakuumsintern	Pressen: Druck 50–200 MPa ± 10 MPa, Zeit 530 s ± 1 s, Barrendichte 50 % 70 % ± 2 % (unidirektional); Extrusionsdruck 20–100 MPa ± 5 MPa, Geschwindigkeit 0,11 m/min $\pm 0,01$ m/min, Barrendichte 50 % 65 % ± 2 % (Extrusion)< br > Sintern: Temperatur 135–1480 °C ± 10 °C, Isolierung 15 h ± 5 min, Dichte 97 % 99 % $\pm 0,5$ % (Gas); Temperatur 135–1500 °C ± 10 °C, Isolierung 14 h ± 5 min, Dichte 98 % 99,5 % $\pm 0,5$ % (Vakuum)	Kohlebergbau, Hartgesteinsabbau, Schlagfrequenz <math>< 100 \text{ Hz} \pm 5 \text{ Hz}</math>	Einwegformen sind kostengünstig und Extrusion eignet sich für lange Streifen; Gasschutz ist für große Teile geeignet und Vakuumsintern verbessert die Leistung; ultragrobkörniges WC 6,010,0 $\mu\text{m} \pm 1,0 \mu\text{m}$.
Präzisionsteile	Mikrowerkzeuge, Ventilkern	Hohe Präzision (Toleranz $\pm 0,005$ mm), Oberflächengüte (Ra <math>< 0,02 \mu\text{m}</math>), hohe Härte (HRA 9294 $\pm 0,5$)	Pulverspritzguss, Dry Bag Isostatisches Pressen	Mikrowellen sintern, Spark-Plasma-Sintern (SPS)	Pressen: Einspritzdruck 50–150 MPa ± 5 MPa, Temperatur 150–200 °C ± 5 °C, Blockschrumpfung 15–20 % ± 1 % (PIM); Druck 150–400 MPa ± 10 MPa, Zeit 30–120 s ± 5 s, Blockdichte 70–80 % ± 1 % (Dry Bag)< br > Sintern: Temperatur 130–1450 °C ± 10 °C, Zeit 1060 min ± 1 min, Dichte 97–99 % $\pm 0,5$ % (Mikrowelle); Temperatur 120–1400 °C ± 10 °C, Druck 30–100 MPa $\pm 0,1$ MPa, Zeit 520 min ± 30 s, Dichte 98–99,5 % $\pm 0,5$ % (SPS)	Verarbeitung elektronischer Teile, Flüssigkeitskontrolle, Größe <math>< 10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}</math>	PIM und Dry-Bag-Isostatpressen eignen sich für mikrokomplexe Formen; Mikrowellen und SPS sind schnell und hochpräzise; nanokristallines WC 0,10,4 $\mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$.
Walzwerkzeug	Walze,	Hohe	Kaltisostatisches	Heißisostatisches	Pressen: Druck 100–300 MPa ± 10	Walzen von	CIP eignet sich für

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Produkt Typ	Produktbeispiele	Leistungsanforderungen	Empfohlenes Pressverfahren	Empfohlenes Knotenhandwerk	Prozessparameter	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
Wälzlager	Andruckrollen	Verschleißfestigkeit (Verschleißverlust $< 0,01 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,001 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), Dauerfestigkeit (Lebensdauer $> 10^7$ Zyklen $\pm 10^5$), thermische Stabilität ($< 900^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$)	Pressen, Einweg-Formpressen	chies Pressen (HIP), Niederdruck sintern	MPa, Haltedruck 15 min ± 10 s, Grünkörperdichte 70–85 % ± 1 % (CIP); Druck 50–200 MPa ± 10 MPa, Zeit 530 s ± 1 s, Grünkörperdichte 50–70 % ± 2 % (unidirektional) $< 1000 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$ $\pm 10^\circ\text{C}$, Druck 100–200 MPa $\pm 0,1$ MPa, Haltedruck 13 h ± 5 min, Dichte 99,8–100 % $\pm 0,2$ % (HIP); Temperatur 1350–1450 $^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, Druck 110 MPa $\pm 0,05$ MPa, Haltedruck 13 h ± 5 min, Dichte 98,5 %–99,5 % $\pm 0,3$ % (Niederdruck)	Stahlblechen und Aluminiumprofilen, Walzkraft $< 1000 \text{ kN} \pm 10 \text{ kN}$	große Walzen und die Einweg-Formkosten sind niedrig; HIP verbessert die Verschleißfestigkeit und Niederdrucksintern gleicht die Kosten aus; grobkörniges WC 3,06,0 $\mu\text{m} \pm 0,5 \mu\text{m}$, Co 10 % $\pm 0,5$ %.
Verschleißfestes Futter	Brecherauskleidung, Mühlenauskleidung	Hohe Verschleißfestigkeit (Verschleißrate $< 0,015 \text{ mm}^3 / \text{h} \pm 0,002 \text{ mm}^3 / \text{h}$), Schlagfestigkeit (Schlagzähigkeit $> 12 \text{ J/cm}^2 \pm 1 \text{ J/cm}^2$), Korrosionsbeständigkeit (Lebensdauer $> 4000 \text{ h} \pm 100 \text{ h}$)	Rollformen, Einweg-Formpressen	Schutzgasintern, Niederdruck sintern	Pressen: Walzendruck 50150 MPa ± 10 MPa, Walzengeschwindigkeit 0,55 U/min $\pm 0,1$ U/min, Blockdicke 110 mm $\pm 0,1$ mm (Walzen); Druck 50200 MPa ± 10 MPa, Zeit 530 s ± 1 s, Materialzerkleinerung, Blockdichte 50%70% ± 2 % (unidirektional) Temperatur 1350–1480 $^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, Isolierung 15 h ± 5 min, Dichte 97%–99% $\pm 0,5$ % (Gas); Temperatur 1350–1450 $^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, Druck 110 MPa $\pm 0,05$ MPa, Isolierung 13 h ± 5 min, Dichte 98,5%–99,5 % $\pm 0,3$ % (Niederdruck)	Bergbau, Materialzerkleinerung, Verschleißrate $< 0,1$ mm/Monat $\pm 0,01$ mm	Das Rollformen eignet sich für dünne Platten, und das Einwegformen ist effizient; der Gasschutz eignet sich für große Auskleidungsplatten, und das Sintern bei niedrigem Druck verbessert die Leistung; mittelgrobes Korn WC 2,04,0 $\mu\text{m} \pm 0,2 \mu\text{m}$.
Lagerkomponenten	Lagerhülsen, Kugeln	Hohe Verschleißfestigkeit (Verschleißverlust $< 0,003 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m} \pm 0,001 \text{ mm}^3 / \text{N} \cdot \text{m}$), hohe Präzision (Toleranz $\pm 0,01$ mm),	Pulverspritzguss, kaltsostatisches Pressen	Vakuumsintern, Spark-Plasma-Sintern (SPS)	Pressen: Einspritzdruck 50–150 MPa ± 5 MPa, Temperatur 150–200 $^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, Blockschrumpfung 15–20 % ± 1 % (PIM); Druck 100–300 MPa ± 10 MPa, Haltedruck 15 min ± 10 s, Blockdichte 70–85 % ± 1 % (CIP) Temperatur 135–1500 $^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, Haltedruck 14 h ± 5 min, Dichte 98–99,5 % $\pm 0,5$ % (Vakuum); Temperatur 120–1400 $^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$, Druck 30–100	Hochgeschwindigkeitsmaschinen, Automobillager, Drehzahl $< 10^4$ U/min ± 100 U/min	PIM eignet sich für komplexe Formen, CIP sorgt für Gleichmäßigkeit; Vakuumsintern ist universell, SPS verbessert die Genauigkeit; feinkörniges WC 0,51,5 $\mu\text{m} \pm 0,1$

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

Produkt Typ	Produktbeispiele	Leistungsanforderungen	Empfohlenes Pressverfahren	Empfohlenes Knotenhandwerk	Prozessparameter	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
		Dauerfestigkeit (Lebensdauer >10 ⁸ Zyklen ±10 ⁶)			MPa ± 0,1 MPa, Zeit 520 min ± 30 s, Dichte 98–99,5 % ± 0,5 % (SPS)		µm .
Sprühwerkzeuge	Sprühdüse, Sandstrahldüse	Sehr hohe Verschleißfestigkeit (Verschleißrate <0,005 mm ³ /h ± 0,001 mm ³ /h), Korrosionsbeständigkeit (Säure- und Laugenbeständigkeit pH >12), thermische Stabilität (<700°C ±10°C)	Pulverspritzguss, Dry Bag Pressen	Mikrowellen sintern, Niederdruck sintern	Pressen: Einspritzdruck 50–150 MPa ± 5 MPa, Temperatur 150–200 °C ± 5 °C, Blockschrumpfung 15–20 % ± 1 % (PIM); Druck 150–400 MPa ± 10 MPa, Zeit 30–120 s ± 5 s, Blockdichte 70–80 % ± 1 % (Trockenbeutel) Sintern: Temperatur 130–1450 °C ± 10 °C, Zeit 1060 min ± 1 min, Dichte 97–99 % ± 0,5 % (Mikrowelle); Temperatur 135–1450 °C ± 10 °C, Druck 110 MPa ± 0,05 MPa, Isolierung 13 h ± 5 min, Dichte 98,5–99,5 % ± 0,3 % (Niederdruck)	Sandstrahlen, Farbspritzen, Durchflussrate <100 L/min ±1 L/min	PIM eignet sich für Präzisionsdüsen, isostatisches Pressen im Trockenbeutel ist effizient; Mikrowellensintern ist schnell, Niederdrucksintern garantiert Leistung; ultrafeines WC 0,20,8 µm ± 0,1 µm .
Medizinische Instrumente	Dentalbohrer, chirurgische Klingen	Hohe Härte (HRA 9194 ±0,5), Oberflächengüte (Ra <0,01 µm), Biokompatibilität (ungiftig), hohe Präzision (Toleranz ±0,002 mm)	Pulverspritzguss, Dry Bag Pressen	Spark-Sintern (SPS), Vakuumsintern	Pressen: Einspritzdruck 50–150 MPa ± 5 MPa, Temperatur 150–200 °C ± 5 °C, Blockschrumpfung 15–20 % ± 1 % (PIM); Druck 150–400 MPa ± 10 MPa, Zeit 30–120 s ± 5 s, Blockdichte 70–80 % ± 1 % (Dry Bag) Sintern: Temperatur 120–1400 °C ± 10 °C, Druck 30–100 MPa ± 0,1 MPa, Zeit 520 min ± 30 s, Dichte 98–99,5 % ± 0,5 % (SPS); Temperatur 135–1500 °C ± 10 °C, Isolierung 14 h ± 5 min, Dichte 98–99,5 % ± 0,5 % (Vakuum)	Dentalchirurgie, orthopädische Bearbeitung, Größe <5 mm ±0,05 mm	PIM und Dry-Bag-Isostatpressen eignen sich für komplexe Mikroformen; SPS bietet hochpräzises und stabiles Vakuumsintern; nanokristallines WC 0,10,4 µm ±0,05 µm , Co nur 2 % 5 % ±0,3 %.
Energiekomponenten	Bohrzähne, Ventildichtungen	Hohe Verschleißfestigkeit (Verschleißverlust <0,008 mm ³ / N · m ± 0,001 mm ³ / N · m), Korrosionsbeständigkeit (Säure-	Kaltisostatisches Pressen, Trockensack-Pressen	Heißisostatisches Pressen (HIP), Niederdruck sintern	Pressen: Druck 100–300 MPa ± 10 MPa, Haltedruck 15 min ± 10 s, Grünkörperdichte 70–85 % ± 1 % (CIP); Druck 150–400 MPa ± 10 MPa, Zeit 30–120 s ± 5 s, Grünkörperdichte 70–80 % ± 1 % (Dry Bag) Sintern: Temperatur 130–1450 °C ± 10 °C, Druck 100–200 MPa ± 0,1 MPa, Haltedruck 13 h ± 5 min, Dichte	Ölbohrungen, Erdgasventile, Druck <100 MPa ±1 MPa	CIP und Dry-Bag-Isostatpressen eignen sich für komplexe Formen; HIP verbessert die Leistung bei hohen Temperaturen und Niederdrucksintern ist kostengünstig;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Produkt Typ	Produktbeispiele	Leistungsanforderungen	Empfohlenes Pressverfahren	Empfohlenes Knotenhandwerk	Prozessparameter	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
		und Laugenbeständigkeit (Lebensdauer > 10 ⁸ Zyklen ± 10 ⁶), hohe Temperaturbeständigkeit (< 1000°C ± 10°C)			99,8–100 % ± 0,2 % (HIP); Temperatur 1350–1450 °C ± 10 °C, Druck 110 MPa ± 0,05 MPa, Haltedruck 13 h ± 5 min, Dichte 98,5 %–99,5 % ± 0,3 % (Niederdruck)		grobkörniges WC 3,06,0 µm ± 0,5 µm, Ni -Zugabe < 2 % ± 0,1 %.
Komponenten für die Luft- und Raumfahrt	Turbinenschaufelformen, Befestigungsformen	Hohe Dauerfestigkeit (Lebensdauer > 10 ⁸ Zyklen ± 10 ⁶), hohe Temperaturbeständigkeit (< 900°C ± 10°C), hohe Präzision (Toleranz ± 0,01 mm)	Pulverspritzguss, kaltsostatisches Pressen	Vakuumsintern, Heißisostatisches Pressen (HIP)	Pressen: Einspritzdruck 50–150 MPa ± 5 MPa, Temperatur 150–200 °C ± 5 °C, Blockschrumpfung 15–20 % ± 1 % (PIM); Druck 100–300 MPa ± 10 MPa, Haltedruck 15 min ± 10 s, Blockdichte 70–85 % ± 1 % (CIP) < br > Sintern: Temperatur 135–1500 °C ± 10 °C, Haltetemperatur 14 h ± 5 min, Dichte 98–99,5 % ± 0,5 % (Vakuum); Temperatur 130–1450 °C ± 10 °C, Druck 100–200 MPa ± 0,1 MPa, Haltetemperatur 13 h ± 5 min, Dichte 99,8–100 % ± 0,2 % (HIP)	Flugzeugtriebwerk, Herstellung von Befestigungselementen, Größe < 50 mm ± 0,5 mm	PIM eignet sich für Präzisions- und komplexe Formen, CIP sorgt für Gleichmäßigkeit; Vakuumsintern ist universell, HIP verbessert die Ermüdungsbeständigkeit; feinkörniges WC 0,51,5 µm ± 0,1 µm.
Werkzeuge für die Elektronikfertigung	Halbleiterform, Leadframeform	Hohe Präzision (Toleranz ± 0,003 mm), Oberflächengüte (Ra < 0,015 µm), hohe Härte (HRA 9295 ± 0,5)	Pulverspritzguss, Dry Bag Isostatisches Pressen	Spark-Plasma-Sintern (SPS), Mikrowellensintern	Pressen: Einspritzdruck 50–150 MPa ± 5 MPa, Temperatur 150–200 °C ± 5 °C, Blockschrumpfung 15–20 % ± 1 % (PIM); Druck 150–400 MPa ± 10 MPa, Zeit 30–120 s ± 5 s, Blockdichte 70–80 % ± 1 % (Dry Bag) < br > Sintern: Temperatur 120–1400 °C ± 10 °C, Druck 30–100 MPa ± 0,1 MPa, Zeit 520–30 s, Dichte 98–99,5 % ± 0,5 % (SPS); Temperatur 130–1450 °C ± 10 °C, Zeit 1060–1 min ± 1 min, Dichte 97–99 % ± 0,5 % (Mikrowelle)	Halbleiterverpackungen, Chipherstellung, Größe < 10 mm ± 0,1 mm	PIM und Dry-Bag-Isostatpressen eignen sich für Mikroformen; SPS und Mikrowellensintern sind hochpräzise und schnell; nanokristallines WC 0,10,4 µm ± 0,05 µm.
Bauwerkzeuge	Betonbohrer, Ziegeltrennscheiben	Hohe Verschleißfestigkeit (Verschleißrate < 0,02 mm ³ / h ±	Einweg-Formpressen, Extrusionsformen	Schutzgassintern, Vakuumsintern	Pressen: Druck 50–200 MPa ± 10 MPa, Zeit 530 s ± 1 s, Barrendichte 50 % 70 % ± 2 % (unidirektional); Extrusionsdruck 20–100 MPa ± 5 MPa, Geschwindigkeit 0,11 m/min ± 0,01	Beton, Mauerwerksbohrtiefe < 100 mm ± 1 mm	Einwegformen sind kostengünstig und Extrusion eignet sich für lange Streifen; Gasschutz

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Produkt Typ	Produktbeispiele	Leistungsanforderungen	Empfohlenes Pressverfahren	Empfohlen Knotenhandwerk	Prozessparameter	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
		0,002 mm ³ /h), Schlagfestigkeit (Schlagzähigkeit >14 J/cm ²) ± 1 J/cm ²) , Korrosionsbeständigkeit (Lebensdauer >3000 h ±100 h)			m/min, Barrendichte 50 % 65 % ± 2 % (Extrusion)< br >Sintern: Temperatur 135–1480 °C ± 10 °C, Isolierung 15 h ± 5 min, Dichte 97 % 99 % ± 0,5 % (Gas); Temperatur 135–1500 °C ± 10 °C, Isolierung 14 h ± 5 min, Dichte 98 % 99,5 % ± 0,5 % (Vakuum)		ist für große Mengen geeignet und Vakuumsintern verbessert die Leistung; mittelgrobes Korn WC 2,04,0 μm ± 0,2 μm .

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.
- Upadhyaya, GS (1998). *Hartmetalle: Herstellung, Eigenschaften und Prüfung*. William Andrew Verlag.
- Fang, ZZ, & Eso, OO (2014). Fortschritte in der Hartmetallverarbeitung. In VK Sarin (Hrsg.) , *Umfassende Hartstoffe (Band 1, S. 167-190)* . Elsevier.
- 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 .
- Prakash, LJ (2014). Hartmetalle : Struktur, Eigenschaften und Leistung. In VK Sarin (Hrsg.), *Comprehensive hard materials* (Band 1, S. 2954). Elsevier.
- Prakash, LJ (2014). Hartmetall: Struktur, Eigenschaften und Leistung. In VK Sarin (Hrsg.), *Comprehensive Hard Materials* (Band 1, S. 2954). Elsevier Verlag.
- Luyckx, S., & Love, A. (2006). Der Zusammenhang zwischen Güte und Mikrostruktur von Hartmetallen. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* , 24(12), 7582 .
- Liu, Y., & Jiang, Y. (2018). Synthese ultrafeiner WC-Pulver durch mechanochemische Verarbeitung. *Pulvertechnologie* , 338, 623630 .
- Sun, J., & Zhao, J. (2020). Auswirkungen von Kornwachstumshemmern auf die Mikrostruktur von Hartmetallen. *Ceramics International* , 46(8), 1154311550.
- Sun, J., & Zhao, J. (2020). Einfluss von Kornwachstumshemmern auf die Mikrostruktur von Hartmetall. *International Journal of Ceramics*, 46(8), 1154311550.
- Zhang, H., & Li, X. (2022). Wärmeleitfähigkeit von Hartmetallen: Experimentelle und modellbasierte Ansätze. *Journal of Materials Research and Technology* , 18, 12341245 .
- Kim, S., & Lee, J. (2021). Thermoschockbeständigkeit von Hartmetallen für Schneidwerkzeuge. *Ceramics International* , 47(12), 1678916796.

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

- Jin, X., & Li, J. (2021). Thermoschockbeständigkeit von Hartmetall für Schneidwerkzeuge. *International Journal of Ceramics*, 47(12), 1678916796.
- Park, C., & Kang, S. (2020). Magnetische und elektrische Eigenschaften von Ni-gebundenen Hartmetallen. *Journal of Materials Science*, 55(14), 62346245.
- Park, Zhe, & Jiang, Sheng. (2020). Magnetische und elektrische Eigenschaften von Ni-gebundenem Hartmetall. *Journal of Materials Science*, 55(14), 62346245.
- Wu, J., & Chen, H. (2023). Elektrochemische Korrosion von Hartmetallen in aggressiven Umgebungen. *Elektrochimie Acta*, 441, 141789.
- Wu, J., & Chen, H. (2023). Elektrochemische Korrosion von Hartmetall in rauen Umgebungen. *Journal of Electrochimica Sinica*, 441, 141789.
- 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.
- China Tungsten Online. (2023). Eigenschaften und Anwendungen von Hartmetall. China Tungsten Online. <http://news.chinatungsten.com/cn/tungstencarbideinformation>
- Chinatungsten Online. (2023). Eigenschaften und Anwendungen von Hartmetall. *Chinatungsten Online*.
- Zhu, LQ, & Li, WP (2018). Fortschritte in der Hartmetall-Herstellungstechnologie. *Materials Reports*, 32(10), 16531660.
- T., & Chen, M. (2019). Fortschritte in der Sinterkinetik von Hartmetallen. *Powder Metallurgy Technology*, 37(5), 321329.
- , M., & Zhao, G. (2022). Fortschritte bei der Prüfung mechanischer Eigenschaften von Hartmetallen. *Materials Science and Technology*, 30(6), 789796.
- , W., & Zhang, H. (2020). Studie zum Oxidationsverhalten von Hartmetallen bei hohen Temperaturen. *Journal of Materials Science and Engineering*, 38(4), 512518.
- , P., & Liu, Y. (2021). Fortschritte bei den thermischen Eigenschaften von Hartmetallen. *Materials China*, 40(3), 234241.

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

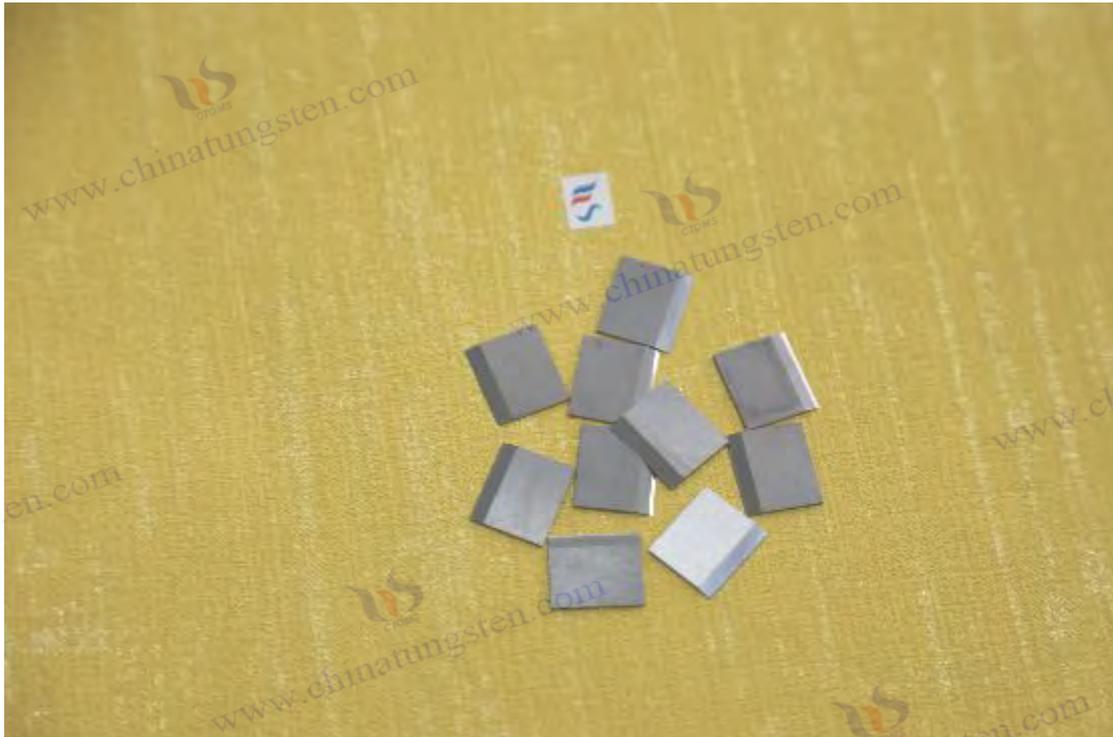
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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 :

Arten von Kugelmühlen zur Herstellung von Hartmetallmischungen

von Hartmetall (Hartmetall oder Zementcarbid) ist ein wichtiger Schritt im Herstellungsprozess, da sie die Mikrostruktur und Eigenschaften (wie Härte, Zähigkeit und Festigkeit) des Endprodukts direkt beeinflusst. Das Kugelmahlen ist der Kernprozess der Mischungsherstellung. Dabei werden die Hartphase (z. B. Wolframcarbid WC), die Bindephase (z. B. Kobalt Co) und andere Additive (z. B. TaC , Cr₃C₂) gleichmäßig vermischt und die Pulverpartikelgröße, Morphologie und Aktivität gesteuert.

Im Folgenden werden die Kugelmahlarten, Verfahren, Prozessparameter, Geräteeigenschaften, Einflussfaktoren und Optimierungsmaßnahmen für die Herstellung von Hartmetallmischungen detailliert beschrieben. Dabei werden Industriestandards (wie ISO, GB/T) und Daten kombiniert, um sicherzustellen, dass der Inhalt umfassend und genau ist.

1. Arten von Kugelmühlen zur Herstellung von Hartmetallmischungen

Die bei der Herstellung von Hartmetallmischungen üblicherweise verwendeten Kugelmühlentypen werden je nach Gerätestruktur, Mahlmethode und Medium in die folgenden Kategorien unterteilt, die jeweils für unterschiedliche Produktionsmaßstäbe und Leistungsanforderungen geeignet sind:

1.1 Planeten-Kugelmühle

Definition : Der Mahlbecher ist auf einer rotierenden Scheibe befestigt, und Scheibe und Becher rotieren und kreisen gleichzeitig, wodurch eine hohe Stoßenergie und Scherkraft erzeugt wird.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Merkmale :

Hochenergetische Mahlung, hohe Effizienz, geeignet für ultrafeine Pulver (Partikelgröße $< 0,5 \mu\text{m}$).
Kurze Schleifzeit (420 Stunden), geeignet für Kleinserien und Hochleistungshartmetalle.
Die Pulverpartikelgrößenverteilung ist eng und die Gleichmäßigkeit gut.

Anwendbare Szenarien :

Ultrafeinkörniges Hartmetall (z. B. Werkzeuge, Formen, Härte 1800–2200 HV). Laborforschung und -entwicklung, Herstellung hochpräziser Mischungen.

Geräteparameter :

Geschwindigkeit: 200–600 U/min (Hauptscheibe), Tankrotation, Geschwindigkeitsverhältnis 1:2.
Kugel-Material-Verhältnis: 5:1 bis 10:1 (Masseverhältnis).
Mahlkörper: Hartmetallkugeln (WC, 610 mm).

Vor- und Nachteile :

Vorteile : hohe Effizienz, feine Partikelgröße und gleichmäßige Mischung.

Nachteile : Hohe Gerätekosten, begrenzte Kapazität (50–500 ml pro Tank), nicht für die Massenproduktion geeignet.

1.2 Trommelkugelmühle

Definition : Die horizontale Trommel ist mit Mahlkugeln und -materialien gefüllt und die Rotation der Trommel bringt die Kugeln und Materialien zum Rollen, Zusammenstoßen und Mahlen.

Merkmale :

Mahlen mit geringem Energieaufwand, geringere Effizienz, aber große Kapazität, geeignet für die Produktion im großen Maßstab.

Lange Mahlzeit (2472 Stunden), Partikelgrößenbereich $0,52 \mu\text{m}$. Einfache Ausrüstung, geringe Wartungskosten.

Anwendbare Szenarien :

Mittelkörniges Hartmetall (z. B. YG6, YG8, Härte 1400–1600 HV).

Massenproduktion von Bergbauwerkzeugen und Allzweck-Schneidwerkzeugen.

Geräteparameter :

Geschwindigkeit: 30100 U/min (6070 % der kritischen Geschwindigkeit).

Kugel-Material-Verhältnis: 3:1 bis 5:1.

Mahlkörper: Hartmetallkugeln oder Stahlkugeln (1020 mm, Stahlkugeln müssen kontaminationssicher sein).

Vor- und Nachteile :

Vorteile : große Kapazität (50 l – 1000 l), niedrige Kosten, für die Industrialisierung geeignet.

Nachteile : geringe Mahlleistung, breite Partikelgrößenverteilung und Schwierigkeiten bei der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Herstellung von ultrafeinem Pulver.

1.3 Schwingkugelmühle

Definition : Der Mahlbecher bringt die Mahlkugeln und Materialien durch hochfrequente Vibrationen (Vibrationsfrequenz 1030 Hz) zum Zusammenstoßen und Scheren.

Merkmale :

Mahlen mit mittlerer bis hoher Energie, mit einer Effizienz zwischen Planeten- und Trommeltyp. Die Mahlzeit betrug 1248 Stunden und die Partikelgröße lag bei 0,51 µm . Geeignet für die Produktion kleiner und mittlerer Chargen, mit guter Mischgleichmäßigkeit.

Anwendbare Szenarien :

Mittel- und feinkörniges Hartmetall (z. B. Hochleistungswerkzeuge, Härte 1600–1800 HV). Zusatzstoffe (wie TaC , TiC) komplexe Formelmischung.

Geräteparameter :

Vibrationsfrequenz: 1525 Hz.
Kugel-Material-Verhältnis: 5:1 bis 8:1.
Mahlkörper: Hartmetallkugeln (515 mm).

Vor- und Nachteile :

Vorteile : hohe Effizienz, gute Partikelgrößenkontrolle, geeignet für kleine und mittlere Maßstäbe.
Nachteile : komplexe Ausrüstung, starke Vibrationen und Lärm sowie hoher Wartungsaufwand.

1.4 Attritormühle

Definition : In einem vertikalen oder horizontalen Tank treibt der Rührarm die Mahlkugeln und Materialien an, sodass sie sich bei hoher Geschwindigkeit verrühren und kollidieren.

Merkmale :

Hochenergetische Mahlung mit einer Effizienz nahe der Planetenmühle, geeignet für ultrafeine Pulver (< 0,5 µm) . Mittlere Kapazität (10 – 100 L), Mahlzeit 624 Stunden. Das Pulver ist hochaktiv und für Hochleistungshartmetalle geeignet.

Anwendbare Szenarien :

Ultrafeinkörniges Hartmetall mit hoher Härte (z. B. Präzisionswerkzeuge, Härte 2000 HV). Komplexe Formulierungen (wie Mehrphasenadditive TiC , TaC) .

Geräteparameter :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Rührgeschwindigkeit: 100–500 U/min.
Kugel-Material-Verhältnis: 8:1 bis 15:1.
Mahlkörper: Hartmetallkugeln (310 mm).

Vor- und Nachteile :

Vorteile : hohe Effizienz, feine Partikelgröße, geeignet für komplexe Formeln.

Nachteile : Die Gerätekosten sind hoch und der Mischarm nutzt sich ab und muss regelmäßig ausgetauscht werden.

1.5 Nass- vs. Trockenkugelmahlen

Nasskugelmahlen :

Eigenschaften : Durch Zugabe eines flüssigen Mediums (wie Ethanol, Aceton) kann die Pulveragglomeration reduziert und die Partikelgröße feiner gemacht werden (0,21 μm).

Anwendung : Ultrafeinkörniges Hartmetall, das eine hohe Gleichmäßigkeit erfordert.

Nachteile : erfordert eine anschließende Trocknung, was die Anzahl der Prozessschritte erhöht.

Trockenes Kugelmahlen :

Eigenschaften : Kein flüssiges Medium, einfacher Prozess, aber leicht zu agglomerieren, grobe Partikelgröße (12 μm).

Anwendbar : Mittelkörniges Hartmetall, Massenproduktion.

Nachteile : geringe Pulveraktivität und etwas schlechte Gleichmäßigkeit.

Datenunterstützung :

Planetentyp: Partikelgröße <0,5 μm , Härte um 20 % erhöht (ScienceDirect, 2020).

Trommeltyp: Partikelgröße 12 μm , geeignet für YG6/YG8 (GB/T 3849).

Rührtyp: Partikelgröße 0,20,5 μm , Zähigkeit um 10 % erhöht (Sandvik, 2023).

2. Detaillierte Beschreibung des Kugelmahlprozesses

Der Kugelmahlprozess zur Herstellung von Hartmetallmischungen umfasst die folgenden Schritte, von denen jeder einen wichtigen Einfluss auf die Pulverqualität und die endgültigen Eigenschaften (wie Härte 1400–2200 HV, Biegefestigkeit 1,5–2,5 GPa) hat :

2.1 Rohstoffaufbereitung

Rohstoff :

Hartphase : WC - Pulver (Partikelgröße 0,52 μm , Reinheit >99,9 %).

Bindephase : Co - Pulver (Partikelgröße 12 μm , Reinheit >99,8 %).

Zusatzstoffe : TaC , TiC , Cr3C2 (Partikelgröße < 1 μm , 0,55 %) .

Verhältnis :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Typische Qualitäten: YG6 (94 % WC, 6 % Co), YG8 (92 % WC, 8 % Co).

Durch genaues Wiegen ($\pm 0,01$ g) wird sichergestellt, dass der Kobaltgehaltsfehler $< 0,1$ % beträgt.

Vorverarbeitung :

Trocknung: Pulver entfeuchten (100°C, 2 Stunden).

Sieben: Große Partikel (200 Maschen, $< 75 \mu\text{m}$) entfernen .

Zweck : Sicherstellung der Reinheit und Partikelgröße der Rohstoffe und Vermeidung einer Kontamination durch Verunreinigungen (wie Fe, O).

2.2 Laden

Mahlkörper :

Um Verunreinigungen durch Stahlkugeln zu vermeiden, werden Hartmetallkugeln (WC, 610 mm, Härte ~ 1500 HV) verwendet.

Kugel-Material-Verhältnis: 5:1 bis 10:1 (Planeten-/Mischtyp), 3:1 bis 5:1 (Trommeltyp).

Mahlbecher :

Material: Hartmetall oder Edelstahl mit WC-Auskleidung, verschleißfest und umweltfreundlich.

Kapazität: Planetentyp (50500 ml), Trommeltyp (501000 l).

Flüssige Medien (Nassmahlung) :

Ethanol, Aceton oder Hexan (Feststoff -Flüssigkeits-Verhältnis 1:1 bis 1:2).

Fügen Sie Formmittel hinzu: Paraffin, Polyethylenglykol (PEG, 12 %), um die Fließfähigkeit zu verbessern.

Zweck : Sicherstellung der Mahlleistung und Verhinderung des Anhaftens oder Verklumpens des Pulvers an der Wand.

2.3 Kugelmahlen

Prozessparameter :

Planetentyp : Geschwindigkeit 300–500 U/min, Zeit 420 Stunden, intermittierender Betrieb (alle 30 Minuten 10 Minuten lang anhalten, um eine Überhitzung zu vermeiden) .

Trommeltyp : Geschwindigkeit 5080 U / min, Zeit 2472 Stunden, Dauerbetrieb.

Vibrationstyp : Frequenz 1520 Hz, Zeit 1248 Stunden .

Rührart : Rührgeschwindigkeit 200400 U/min, Zeit 624 Stunden.

Verfahren :

Die Mahlkugeln prallen auf das Pulver und scheren mit ihm, wodurch große Partikel aufgebrochen und WC , CO und Additive vermischt werden.

Nassmahlen: Flüssiges Medium suspendiert Pulver, reduziert Agglomeration und erzeugt feinere Partikelgrößen.

Trockenmahlen: Direktmahlen, geeignet für grobe Partikelgröße.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Monitor :

Partikelgrößenerkennung: Laser-Partikelgrößenanalysator, Zielpartikelgröße 0,22 μm .

Temperaturkontrolle: <60 °C, um eine Oxidation des Pulvers zu vermeiden.

Zweck : Erhalt einer gleichmäßigen, feinen und hochaktiven Mischung.

2.4 Entladen und Nachbearbeitung

Entladen :

Stoppen Sie das Kugelmahlen, lassen Sie es 12 Stunden stehen (Nassmahlen) und trennen Sie Pulver und Mahlkugeln.

Filtern Sie das flüssige Medium (Nassmahlen) und sammeln Sie die gemischte Aufschlämmung.

Trocknen (Nassmahlen) :

Ausrüstung: Vakuumtrockenschrank oder Sprühtrockner.

Bedingungen: 80 – 100 °C, 24 Stunden, Vakuum <100 Pa.

Zweck: Ethanol/Aceton entfernen, das Formmittel zurückhalten und ein Pulver mit guter Fließfähigkeit bilden.

Vorführung :

200-Maschen - Sieb (<75 μm) zum Entfernen agglomerierter Partikel.

Erkennung :

Partikelgrößenverteilung: D50 (mittlere Partikelgröße) 0,22 μm , D90 <5 μm .

Chemische Zusammensetzung: ICP-gemessener Kobaltgehalt (Fehler $\pm 0,1\%$).

Sauerstoffgehalt: <0,2 %, um eine Oxidation zu vermeiden, die das Sintern beeinträchtigt.

Zweck : Sicherstellen, dass das gemischte Material gleichmäßig und fein ist und sich zum Pressen und Sintern eignet.

2.5 Qualitätskontrolle

Kobalt-Magnettest (GB/T 3849):

Überprüfen Sie den Kobaltgehalt und die Kohlenstoffbilanz, um die Homogenität der Mischung sicherzustellen.

Typischer Wert: YG6 magnetischer Sättigungswert $\sim 0,97 \mu\text{Tm}^3/\text{kg}$.

Mikrostrukturanalyse (ISO 4499):

Die Pulvermorphologie wurde mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) beobachtet, um sicherzustellen, dass keine Agglomerate oder großen Partikel vorhanden waren.

Liquiditätstest :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hall-Durchflussmesser, Durchflussrate <30 s/50 g, gewährleistet Pressleistung.

Zweck : Sicherstellen, dass die Mischung die Sinteranforderungen erfüllt und Defekte wie η -Phase und Poren reduzieren.

3. Faktoren, die den Kugelmahlprozess beeinflussen

3.1 Rohstoffeigenschaften

Partikelgröße : WC - Partikelgröße <2 μm , Co <2 μm . Bei zu großer Partikelgröße verlängert sich die Mahlzeit um 20 %.

Reinheit : Verunreinigungen (wie Fe, O) > 0,1 % reduzieren die Härte um 5 % und erhöhen die η -Phase.

Aussehen : Kugelförmiges Pulver weist eine gute Fließfähigkeit auf, während flockiges Pulver leicht agglomeriert.

3.2 Mahlparameter

Kugel-Material -Verhältnis : Ein hohes Kugel-Material-Verhältnis (10:1) verbessert die Effizienz, aber ein zu hohes Verhältnis (>15:1) erhöht die Umweltverschmutzung.

Geschwindigkeit/ Frequenz : Eine hohe Geschwindigkeit (500 U/min) führt zu einer feineren Partikelgröße, eine zu hohe Geschwindigkeit führt jedoch zu Überhitzung und einer Erhöhung des Sauerstoffgehalts um 0,1 %.

Mahldauer : Ist die Zeit zu kurz (<4 Stunden), erfolgt die Mischung **ungleichmäßig** , ist die Zeit zu lang (>72 Stunden), verringert sich die Pulveraktivität.

3.3 Mahlkörper

Material : Hartmetallkugeln verhindern Verunreinigungen, während Stahlkugeln Fe (>0,05 %) einbringen, was die Leistung verringert.

Größe : Kleine Kugeln (36 mm) zum ultrafeinen Mahlen, große Kugeln (1020 mm) zum groben Mahlen.

Flüssiges Medium : Ethanol reduziert die Agglomeration, Hexan ist hochflüchtig, aber entzündlich.

3.4 Umweltkontrolle

Temperatur : >60°C. Pulveroxidation, Härte nimmt um 5 % ab.

Atmosphäre : Beim Nassschleifen ist ein Schutz durch Inertgas (z. B. Argon) erforderlich , um eine Oxidation zu verhindern.

Verunreinigung : Durch den Verschleiß des Tanks/der Kugel entstehen Verunreinigungen, die die Biegefestigkeit um 10 % reduzieren.

Datenunterstützung :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Partikelgröße: Ultrafeines Korn ($<0,5 \mu\text{m}$), Härte um 20 % erhöht (ScienceDirect, 2020).

Verunreinigungen: Fe $>0,1 \%$ Biegefestigkeit nimmt um 10 % ab (ISO 3326:2013).

Mahlzeit: Planetarisch 12 Stunden, Partikelgröße D50 $\sim 0,3 \mu\text{m}$ (Sandvik, 2023).

4. Optimierungsmaßnahmen

Wählen Sie die richtige Kugelmühle :

Planeten-/Rührtyp : ultrafeinkörniges Hartmetall, Partikelgröße $<0,5 \mu\text{m}$, Härte um 20 % erhöht.

Trommeltyp : Mittelkorn ($12 \mu\text{m}$), Kostenreduzierung um 30 %.

Umsetzung : Wählen Sie die Ausrüstung entsprechend der Marke aus (z. B. YG6, ultrafeines Korn).

Schleifparameter optimieren :

Kugel-Material-Verhältnis: 8:1 (Planetentyp), 5:1 (Trommeltyp), Effizienz um 15 % erhöht.

Rotationsgeschwindigkeit: Planetentyp 400 U/min, Trommeltyp 60 U/min,

Partikelgrößengleichmäßigkeit um 10 % erhöht.

Zeit: 12 Stunden für Planetentyp, 48 Stunden für Trommeltyp, Ausgleich von Effizienz und Aktivität.

Umsetzung : Partikelgrößenverteilung in Echtzeit überwachen und Parameter anpassen.

Verwenden Sie hochreine Rohstoffe :

WC/Co-Reinheit $>99,9 \%$, Sauerstoffgehalt $<0,2 \%$, Härte um 5 % erhöht.

Vorbehandlung: Trocknen bei 100°C , Sieben mit 200 Maschen, Reduzierung der Verunreinigungen auf $<0,05\%$.

Durchführung : ICP-Prüfung der Rohstoffbestandteile.

Verwenden Sie Hartmetallmedien :

WC-Kugel (610mm), Verschmutzungsgrad auf $<0,01 \%$ reduziert, Biegefestigkeit um 10 % erhöht.

Der Tank ist mit WC ausgekleidet, was die Verschleißfestigkeit um das Zweifache erhöht.

Umsetzung : Regelmäßig den Ball-/Dosenverschleiß prüfen.

Optimierung des Nassmahlprozesses :

Flüssigkeit: Ethanol (Feststoff -Flüssigkeits-Verhältnis 1:1,5), Partikelgröße auf $0,3 \mu\text{m}$ reduziert.

Bildner: PEG (1,5 %), Fließfähigkeit um 20 % erhöht.

Trocknung: Sprühtrocknung (100°C), Pulveragglomerationsrate $<1 \%$.

Umsetzung : Kontrollieren Sie das Fest-Flüssig-Verhältnis und optimieren Sie die Trocknungsparameter.

Umweltkontrolle :

Temperatur: $<50^\circ\text{C}$, Sauerstoffgehalt sinkt auf $<0,1\%$.

Atmosphäre: Argon -Gasschutz, Oxidationsrate um 50 % reduziert.

Umsetzung : Verwenden Sie versiegelte Tanks und eine Inertgaszirkulation.

Wirkung :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Nassschliff (12 Stunden, 0,3 μm) : Härte um 20 % erhöht, Biegefestigkeit um 10 % erhöht.
Trommeltyp (48 Stunden, 1 μm) : Kostenreduzierung von 30 %, geeignet für YG6/YG8.
Hochreine Rohstoffe + WC-Medium: Verunreinigungen um 80 % reduziert, Leistungsstabilität um 15 % erhöht.

5. Praktische Anwendungsfälle

YG6 -Werkzeug :

Kugelmahlen : Trommeltyp, 48 Stunden, Partikelgröße 1 μm , Nassmahlen mit Ethanol, Kugel-Material-Verhältnis 5:1 .

Ergebnisse : Härte 1500 HV, Biegefestigkeit 2 GPa , Lebensdauer der Gusseisenbearbeitung 2 Stunden.

Schneidwerkzeuge mit ultrafeinem Korn :

Kugelmahlen : Planetenmahlen , 12 Stunden, Partikelgröße 0,3 μm , Ethanol + PEG, Kugel-Material-Verhältnis 8:1 .

Ergebnisse : Härte 2000 HV, Biegefestigkeit 1,8 GPa , Bearbeitungszeit des Edelstahls 4 Stunden.

YG15 -Form :

Kugelmahlen : Vibration, 24 Stunden, Partikelgröße 0,8 μm , Nassmahlen mit Hexan , Kugel-Material - Verhältnis 6:1.

Ergebnisse : Härte 1300 HV, Biegefestigkeit 2,5 GPa , Stempellebensdauer 120.000 Mal.

6. Fazit

Zu den Kugelmühlentypen, die zur Herstellung von Hartmetallmischungen verwendet werden, gehören Planeten-, Trommel-, Vibrations- und Rührmühlen, die jeweils für unterschiedliche Partikelgrößen und Produktionsmaßstäbe geeignet sind:

Planeten-/Rührtyp : ultrafeine Körnung (<0,5 μm) , hohe Härte (2000 HV), kleine Charge.

Trommeltyp : mittlerer Kristall (12 μm) , niedrige Kosten, großes Volumen.

Schwingungsart : mittelfeiner Kristall (0,51 μm) , kleiner bis mittlerer Maßstab .

Der Kugelmahlprozess umfasst die Rohmaterialaufbereitung, das Beladen, das Kugelmahlen, das Entladen und die Nachbearbeitung. Die wichtigsten Parameter sind das Kugel-Material-Verhältnis (5:110:1), die Drehzahl (50–500 U/min) und die Zeit (472 Stunden). Einflussfaktoren sind unter anderem Rohmaterialeigenschaften, Mahlparameter, Mahlmedium und Umgebung. Optimierungsmaßnahmen umfassen die Auswahl hochreiner Rohmaterialien, Hartmetallmedien, Nassmahlverfahren und Umweltkontrolle. Dadurch können die Härte um 20 %, die Biegefestigkeit um 10 % und die Leistungsstabilität um 15 % gesteigert werden.

Standardreferenz :

GB/T 3849: Kobalt-Magnettest zur Überprüfung der Gleichmäßigkeit der Mischung.

ISO 4499: Mikrostrukturanalyse, Bestimmung der Partikelgröße und Agglomeration.

ASTM B406: Biegefestigkeitstest zur Beurteilung der Mischungsqualität.

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 :

Spezifikationen, Eigenschaften und Normen von Wolframcarbidpulver

die hauptsächliche Hartphase von Hartmetall (z. B. Hartmetall auf Nickel- oder Kobaltbasis) mit einem Anteil von 80–95 Gewichtsprozent . Seine Spezifikationen (z. B. Partikelgröße, Reinheit, Kohlenstoffgehalt) und Leistung (z. B. Härte, Dichte, Korngröße) wirken sich direkt auf die mechanischen Eigenschaften (Biegefestigkeit 1,8–2,5 GPa , Härte 1400–2200 HV), Korrosionsbeständigkeit (<0,005 mm/Jahr) und Mikrostruktur (Korn 0,12 μm , Gleichmäßigkeit > 95 %) von Hartmetall-Prüfstäben aus. Chinesische nationale Normen (GB/T) und internationale Normen (z. B. ISO 4499, ASTM B777) enthalten strenge Vorschriften zu den Spezifikationen, Leistungen und Prüfmethoden von WC-Pulver, um sicherzustellen, dass es die Anforderungen für die Hartmetallherstellung erfüllt (z. B. GB/T 3851-2015, GB/T 34505-2017). Im Folgenden werden die Spezifikationen, die Leistung und die entsprechenden Standards von Wolframcarbidpulver detailliert beschrieben.

1. Übersicht

Wolframcarbidpulver wird aus Wolfram (W) oder Wolframoxid (WO_3) und einer Kohlenstoffquelle (z. B. Ruß) durch einen Aufkohlungsprozess (1400–2000 °C, H_2 /Vakuum) hergestellt und ist der Hauptrohstoff von Hartmetall. Zu seinen wichtigsten Eigenschaften gehören: Chemische Zusammensetzung: Gesamtkohlenstoff $6,13 \pm 0,1$ Gew.-%, freier Kohlenstoff <0,01 %, Verunreinigungen (Fe, Mo) <0,01 %.

Partikelgröße: 0,15 μm (konventionell 0,52 μm , Ultrafeinkorn <0,5 μm), Abweichung $\leq \pm 10\%$.

Eigenschaften: Dichte 15.615,8 g/ cm^3 , Härte 2400–3000 HV (Einkristall), Fließfähigkeit <25 s/50

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

g.

Mikrostruktur: einphasiges WC, η -Phase (W₃C) <0,5 %, Porosität <0,01 %.

Die Spezifikationen und Eigenschaften von WC-Pulver müssen den Anforderungen der Hartmetallprüfstabherstellung (z. B. YN6, YG15) und der Prüfung (z. B. Biegefestigkeit GB/T 3851 2015, Härte GB/T 7997 2017) entsprechen. Dieser Artikel erläutert die drei Aspekte ausführlich: Spezifikationen, Leistung und Normen.

2. Spezifikationen von Wolframcarbidpulver

WC-Pulver umfasst chemische Zusammensetzung, Partikelgrößenverteilung, Morphologie und physikalische Eigenschaften, die nationalen Standards (wie GB/T 345052017) und Branchenanforderungen entsprechen müssen.

2.1 Chemische Zusammensetzung

Gesamtkohlenstoff:

Anforderung: $6,13 \pm 0,1$ Gew.-% (theoretischer Wert 6,13 %, WC-Molverhältnis C/W = 1:1).

Abweichung: $<\pm 0,05$ %, Vermeidung der η -Phase ($<6,08$ %, Härte um 5–10 % reduziert) oder des freien Kohlenstoffs ($>6,18$ %, Festigkeit um 10–15 % reduziert).

Freier Kohlenstoff:

Anforderungen: $<0,01$ %, hoher freier Kohlenstoff führt zu mikrostrukturellen Defekten (Porosität nimmt um 0,02 % zu).

Verunreinigungen:

Sauerstoff (O): $<0,05$ %, hoher Sauerstoffgehalt führt zur Entkohlung (η -Phase, Festigkeitsreduzierung um 5 %).

Eisen (Fe), Molybdän (Mo), Chrom (Cr): jeweils $<0,01$ %, Fe erhöht das Risiko von Mikrorissen um 15 %.

Schwefel (S), Phosphor (P): jeweils $<0,005$ %, um eine spröde Phase zu vermeiden.

Testmethode:

Kohlenstoff- und Schwefelanalysator : Gesamtkohlenstoff, freier Kohlenstoff ($\pm 0,01$ %, GB/T 5314 2011).

ICPMS: Fe, Mo usw. ($\pm 0,001$ %).

Sauerstoff- und Stickstoffanalysator: O ($\pm 0,01$ %).

Beispiele:

YN10 WC: Gesamtkohlenstoff 6,14 %, freier Kohlenstoff $<0,005$ %, O $<0,03$ % (Sandvik, 2023).

2.2 Partikelgrößenverteilung

Umfang:

Konventionell: $0,52 \mu\text{m}$, D50 - Abweichung $<\pm 10$ %, für YN6, YG15.

Ultrafeine Körnung: $0,10,5 \mu\text{m}$, D50 $\sim 0,3 \mu\text{m}$, verwendet für YN8N (Werkzeuge für die Luft- und Raumfahrt) .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Grob: 25 μm , wird für Bergbauwerkzeuge verwendet.

Gleichmäßigkeit:

D90/D10 <3, wodurch eine Mischgleichmäßigkeit von >95 % gewährleistet wird.

Agglomerationsrate: <1 %, Porositätszunahme von 0,01 % vermeiden.

Testmethode:

Laser-Partikelgrößenanalysator ($\pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 19077).

SEM (1000 \times , statistische Korngröße, $\pm 0,1 \mu\text{m}$) .

Beispiele:

YN8N: D50 $\sim 0,3 \mu\text{m}$, D90/D10 $\sim 2,5$, Agglomeration <0,5 % (ScienceDirect, 2021).

2.3 Morphologie

Aussehen:

Anforderungen: Polyeder oder nahezu kugelförmig, Sphärizität 0,80,9 (SEM, 1000 \times).

Vermeiden Sie: Nadeln, Flocken (Flüssigkeit um 1015 % reduziert).

Oberfläche:

Glatt, ohne Risse oder Poren (< 0,1 μm) , Oxidschicht <10 nm (XPS).

Testmethode:

SEM: Morphologie, Agglomeration.

XPS: Oberflächenoxidschicht ($\pm 1 \text{nm}$).

Beispiele:

YN10: polyedrisch, Sphärizität $\sim 0,9$, Oxidschicht <5 nm (Sandvik, 2023).

2.4 Physikalische Eigenschaften

Dichte:

Bedarf: 15,615,8 g/cm³ (theoretischer Wert 15,63 g/cm³) .

Prüfung: Archimedes-Methode ($\pm 0,01 \text{g/cm}^3$, GB/T 3850 2015).

Spezifische Oberfläche:

m² /g (0,52 μm) .

Ultrafeine Körnung: 310 m²/g (0,10,5 μm) .

Prüfung: BET ($\pm 0,1 \text{m}^2/\text{g}$).

Liquidität:

Anforderungen: <25 s/50 g, Gewährleistung einer Pressgleichmäßigkeit >95 %.

Test: Hall-Durchflussmesser ($\pm 0,1 \text{s}$, GB/T 1482 2010).

Beispiele:

YN6: Dichte 15,7 g/cm³ , spezifische Oberfläche 2 m²/g, Fließfähigkeit $\sim 20 \text{s}/50 \text{g}$.

Tabelle 1: Spezifikationen von Wolframcarbidpulver

Spezifikation	Erfordern	Testmethode	Beispiel (YN10)
Gesamtkohlenstoff	6,13 \pm 0,05 Gew.-%	Kohlenstoff-	und 6,14 %

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Spezifikation	Erfordern	Testmethode	Beispiel (YN10)
		Schwefelanalyse	
Freier Kohlenstoff	<0,01 %	Verbrennungsmethode	<0,005 %
Verunreinigungen (O, Fe)	O <0,05 %, Fe <0,01 %	Sauerstoff- und Stickstoffanalyse, ICPMS	O <0,03 %, Fe <0,005 %
Granularität	0,52 μm (konventionell), 0,10,5 μm (ultrafeine Körnung)	Laser-Partikelgrößenanalyse, SEM	D50 ~1 μm, D90/D10 ~2,5
Morphologie	Polyeder/nahezu kugelförmig, Sphärität 0,80,9, Agglomeration <1 %	SEM, XPS	Sphärität ~0,9, Agglomeration <0,5 %
Dichte	15.615,8 g/cm ³	Archimedische Methode	15,7 g/cm ³
Spezifische Oberfläche	110 m ² / g	WETTE	34 m ² / g
Liquidität	<25 s/50 g	Hall-Durchflussmesser	~20 s/50 g

3. Eigenschaften von Wolframcarbidpulver

Zu den Eigenschaften von WC-Pulver gehören mechanische Eigenschaften, Mikrostruktur und Prozessleistung, die sich direkt auf die Qualität von Hartmetall-Prüfstäben auswirken.

3.1 Mechanische Eigenschaften

Härte:

Einkristall-WC: 2400 – 3000 HV (Mikronebene, GB/T 7997 2017).

Hartmetall: 1400 – 2200 HV (steigt mit der Korngröße, z. B. YN8N ~1800 HV).

Druckfestigkeit:

Einkristall-WC: ~7 GPa (Raumtemperatur).

Hartmetall: 46 GPa (nimmt mit dem Bindephasenverhältnis ab).

Testmethode:

Vickers-Härteprüfer (HV30, ±50 HV).

Universalprüfmaschine (Kompression, ±0,1 GPa) .

Beispiel: YN10-Legierung: WC-Härte ~2600 HV, Legierungshärte 1500 HV (Sandvik, 2023).

3.2 Mikrostruktur

Phasenzusammensetzung:

Anforderungen: einphasiges WC, η-Phase (W3C) <0,5 %, freier Kohlenstoff <0,01 %.

η-Phase: Die Härte nimmt um 5 % zu, aber die Zähigkeit nimmt um 1015 % ab (KIC nimmt um 12 MPa·m^{1/2} ab) .

Körnung:

Konventionell: 0,52 μm, Härte 1400 – 1600 HV.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ultrafeine Körnung: 0,10,5 μm , Härte 1800 - 2200 HV.
 Grob: 25 μm , Zähigkeit um 10 % erhöht (KIC $\sim 12 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).
 Porosität:
 Anforderungen: <0,01 % , hohe Porosität reduziert die Festigkeit um 510 % .
 Testmethode:
 XRD: Phasenzusammensetzung (Empfindlichkeit 0,1 % , GB/T 18376 2014).
 SEM: Korngröße ($\pm 0,1 \mu\text{m}$) .
 Optische Mikroskopie: Porosität (A02B00C00, GB/T 51692013).
 Beispiel: YN8N: Korngröße <0,5 μm , η - Phase <0,3 % , Porosität <0,005 % (ScienceDirect, 2021).

3.3 Prozessleistung

Sinteraktivität:

Feinkörniges WC (<0,5 μm) : Sintertemperatur ist 50100°C (13501400°C), Dichte >99,9 % .
 Hohe spezifische Oberfläche (310 m^2/g). Verbessertes Flüssigphasensintern (Ni, Co).

Mischleistung:

Fließfähigkeit: <25 s/50 g, Gleichmäßigkeit >95 % (GB/T 1482 2010).
 Nassmahlen (824 h, PEG 0,10,2 Gew. %), D50 50 - 150 μm .

Komprimierungsleistung:

Kaltisostatisches Pressen (200 – 350 MPa), Barrengleichmäßigkeit >95 % .

Testmethode:

Hall-Durchflussmesser: Fließfähigkeit.

Laser-Partikelgrößenanalyse: Partikelgröße von Mischungen.

Beispiel: YN6: Sintertemperatur 1400 °C, Fließfähigkeit ~ 20 s/50 g, Dichte 99,9 % .

Tabelle 2: Leistungsanforderungen an Wolframkarbidpulver

Leistung	Erfordern	Testmethode	Beispiel (YN10)
Härte	Einkristall 24003000 HV, Legierung 14002200 HV	Vickers-Härteprüfer	Einkristall ~ 2600 HV, Legierung 1500 HV
Druckfestigkeit	Einkristall ~ 7 GPa , Legierung 46 GPa	Universalprüfmaschine	Legierung ~ 5 GPa
Phasenzusammensetzung	Einphasiges WC, η -Phase <0,5 % , freier Kohlenstoff <0,01 %	XRD	η -Phase <0,3 % , freier Kohlenstoff <0,005 %
Körnung	0,15 μm (normalerweise 0,52 μm)	Rasterelektronenmikroskop (SEM)	$\sim 1 \mu\text{m}$
Porosität	<0,01 %	Optisches Mikroskop	<0,005 %
Sinteraktivität	1350–1400 °C (ultrafeine Körnung) , Dichte > 99,9 %	Sintertest	1380°C, Dichte 99,9%

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Leistung	Erfordern	Testmethode	Beispiel (YN10)
Liquidität	<25 s/50 g	Hall-Durchflussmesser	~20 s/50 g

4. Verwandte Normen

Die Spezifikationen und die Leistung des WC-Pulvers müssen den chinesischen nationalen Standards (GB/T), internationalen Standards (ISO, ASTM) und Industriespezifikationen entsprechen, um die Konsistenz bei der Vorbereitung und Prüfung der Teststäbe zu gewährleisten.

4.1 Chinesischer Nationalstandard (GB/T)

GB/T 34505 2017 Technische Anforderungen für die Herstellung von Hartmetallpulver:
Spezifikationen: Reinheit > 99,9 %, Gesamtkohlenstoff $6,13 \pm 0,1$ %, Partikelgrößenabweichung ± 10 %.

Eigenschaften: Korngröße $0,15 \mu\text{m}$, freier Kohlenstoff <0,01 %, η -Phase <0,5 %.

Anwendbar: WC-Pulveraufbereitung, YN6, YN10 usw.

GB/T 5314 2011 Chemische Analysemethoden für Hartmetall:

Test: Gesamtkohlenstoff ($\pm 0,01$ %), freier Kohlenstoff ($\pm 0,005$ %), Fe, Mo ($\pm 0,001$ %).

Methoden: Kohlenstoff- und Schwefelanalyse, ICPMS, Sauerstoff- und Stickstoffanalyse.

Anwendbar: Überprüfung der Zusammensetzung von WC-Pulver und Prüfstäben.

GB/T 18376 2014 Methode zur Bewertung der Mikrostruktur von Hartmetall:

Anforderungen: einphasiges WC, η -Phase <0,5 %, Kornabweichung $\leq \pm 10$ %.

Tests: XRD (Phasenzusammensetzung), SEM (Korngröße).

Anwendbar auf: WC-Pulver und Prüfstab-Mikrostruktur.

GB/T 3850 2015 Methode zur Bestimmung der Dichte von Hartmetall:

Anforderung: $15,615,8 \text{ g/cm}^3 (\pm 0,01 \text{ g/cm}^3)$.

Test: Archimedisches Verfahren.

Anwendbar: WC-Pulver und Dichtepfung mit Prüfstäben.

GB/T 1482 2010 Methode zur Bestimmung der Fließfähigkeit von Hartmetallpulver:

Anforderung: <25 s/50 g.

Test: Hall-Durchflussmesser.

Anwendbar: WC-Pulver-Mischleistung.

GB/T 5169 2013 Testmethode für die Porosität von Hartmetall:

Anforderungen: Porosität <0,01 % (A02B00C00).

Test: Optische Mikroskopie.

Anwendbar: Indirekte Überprüfung von WC-Pulver (Prüfstab).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 3851 2015 Prüfverfahren für die Querbruchfestigkeit von Hartmetall:

Indirekte Anforderung: Die Qualität des WC-Pulvers beeinflusst die Festigkeit des Prüfstabs (1,82,5 GPa).

Prüfung: Dreipunktbiegung (Prüfstab 5×5×35 mm).

GB/T 7997 2017 Hartmetall-Vickers-Härteprüfmethode:

Indirekte Anforderung: Die Härte des WC-Pulvers beeinflusst die Härte der Legierung (1400–2200 HV).

Prüfung: Vickers-Härteprüfgerät (HV30).

4.2 Internationale Normen

ISO 44991:2008 Mikrostruktur von Hartmetall:

Entspricht GB/T 183762014, das eine Korngröße (0,15 μm) und eine η-Phase <0,5 % vorschreibt.

Anwendbar: WC-Pulver und Prüfstab.

ISO 3369:2006 Dichte von Hartmetall:

Entspricht GB/T 3850-2015, Dichte 15.615,8 g/cm³.

Anwendbar: WC-Pulverüberprüfung.

ISO 11876:2010 Chemische Analyse von Hartmetall:

von Gesamtkohlenstoff, freiem Kohlenstoff und Verunreinigungen finden Sie in GB/T 53142011.

Anwendbar: Inhaltsstoffe von WC-Pulver.

ASTM B77715 Wolframbasierte Materialien:

Referenzstandard: WC-Pulver Reinheit >99,9 %, Partikelgröße 0,15 μm.

Anwendung: WC-Pulver für die Luftfahrt und den Bergbau.

4.3 Industriestandards

Sandvik-Standard (2023):

Ultrafeines Korn WC: D50 0,20,5 μm, O <0,03 %, η-Phase <0,3 %.

Anwendung: YN8N (Luftfahrtwerkzeug).

Kennametal-Normen (2021):

Konventionelles WC: D50 0,52 μm, freier Kohlenstoff <0,005 %, Fließfähigkeit ~20 s/50 g.

Anwendung: YN6, YG15 (Werkzeuge, Formen).

Tabelle 3: Normen für Wolframkarbidpulver

Standard	Inhalt	Erfordern	Anwendbar
GB/T 345052017	Pulveraufbereitung	Reinheit >99,9 %, Kohlenstoff 6,13 ± 0,1 %, Korngröße	WC-Pulver-Zubereitung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Standard	Inhalt	Erfordern	Anwendbar
		0,15 μm	
GB/T 53142011	Chemische Analyse	Gesamtkohlenstoff±0,05 %, freier Kohlenstoff <0,01 %	WC-Pulver und Prüfstäbchen
GB/T 183762014	Mikrostruktur	Einphasiges WC, η-Phase <0,5 %, Kornabweichung <±10 %	WC-Pulver und Prüfstäbchen
GB/T 38502015	Dichte	15.615,8 g/cm ³	WC-Pulver und Prüfstäbchen
GB/T 14822010	Liquidität	<25 s/50 g	WC-Pulvermischung
GB/T 51692013	Porosität	<0,01 % (A02B00C00)	Prüfstab (indirekt)
ISO 44991:2008	Mikrostruktur	η-Phase <0,5 %, Korngröße 0,15 μm	WC-Pulver und Prüfstäbchen
ISO 3369:2006	Dichte	15.615,8 g/cm ³	WC-Pulver
ASTM B77715	Materialien auf Wolframbasis	Reinheit >99,9 %, Partikelgröße 0,15 μm	WC-Pulver für Luftfahrt und Bergbau

5. Praktische Anwendungsfälle

YN6 (Werkzeug, 6 % Ni):

Spezifikationen: D50 ~1,2 μm, Gesamtkohlenstoff 6,14 %, freier Kohlenstoff <0,005 %, O <0,03 %.

Eigenschaften: Härte 1400 HV, Festigkeit 1,8 GPa, Porosität <0,01 %.

Standard: GB/T 34505-2017 (Partikelgröße), GB/T 5314-2011 (Kohlenstoffgehalt).

Anwendung: Korrosionsbeständiges Werkzeug, Lebensdauer 2,5 Stunden (Sandvik, 2023).

YN10 (Matrize, 10 % Ni):

Spezifikationen: D50 ~1 μm, Gesamtkohlenstoff 6,13 %, η-Phase <0,3 %, Dichte 15,7 g/cm³.

Leistung: Härte 1500 HV, KIC 9 MPa·m^{1/2}, Korrosionsrate <0,005 mm/Jahr.

Standard: GB/T 183762014 (Mikrostruktur), GB/T 43342020 (Korrosionsbeständigkeit).

Anwendung: Chemische Schimmelpilze, Lebensdauer 100.000-mal (ScienceDirect, 2021).

YN8N (Luftfahrtwerkzeuge, 8 % Ni):

Spezifikationen: D50 ~0,3 μm, Gesamtkohlenstoff 6,12 %, freier Kohlenstoff <0,005 %, Sphärizität ~0,9.

Eigenschaften: Härte 1800 HV, Festigkeit 2,2 GPa, Korngröße <0,5 μm.

Standard: ISO 44991:2008 (Korn), GB/T 38512015 (Festigkeit).

Anwendung: Luftfahrtwerkzeuge, Lebensdauer 4 Stunden (Sandvik, 2023).

Tabelle 4: Anwendungsfälle von Wolframcarbidpulver

Marke	Spezifikation	Leistung	Standard	Anwendung
YN6	D50 ~1,2 μm, Kohlenstoff 6,14 %, O <0,03 %	Härte 1400 HV, Festigkeit 1,8 GPa	GB/T 345052017, GB/T 53142011	Standzeit: 2,5 Stunden
YN10	D50 ~1 μm, Kohlenstoff 6,13 %	Härte 1500 HV, KIC 9 MPa·m ^{1/2}	GB/T 183762014	Schimmel, Lebensdauer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Marke	Spezifikation	Leistung	Standard	Anwendung
	η -Phase <0,3 %	Korrosion <0,005 mm/Jahr	GB/T 43342020	100.000 Mal
YN8	D50 \sim 0,3 μ m , Kohlenstoff 6,12 %, Sphärität \sim 0,9	Härte 1800 HV, Festigkeit 2,2 GPa , Korngröße <0,5 μ m	ISO 44991:2008, GB/T 38512015	Luftfahrtwerkzeug, Lebensdauer 4 Stunden

6. Fazit

Die Spezifikationen und Eigenschaften von Wolframcarbidpulver müssen den Anforderungen für die Herstellung und Prüfung von Hartmetall-Prüfstäben entsprechen:

Spezifikation

Chemische Zusammensetzung: Gesamtkohlenstoff $6,13 \pm 0,05$ %, freier Kohlenstoff <0,01 %, O <0,05 %.

Partikelgröße: 0,52 μ m (konventionell), 0,10,5 μ m (ultrafeines Korn).

Morphologie: Polyedrisch/fast kugelförmig, Agglomeration <1 %.

Physikalische Eigenschaften: Dichte 15.615,8 g/cm³ , Fließfähigkeit <25 s/50 g.

Leistung

Mechanik: Härte des Einkristalls 2400–3000 HV, Härte der Legierung 1400–2200 HV.

Mikrostruktur: einphasiges WC, η -Phase <0,5 %, Porosität <0,01 %.

Verfahren: Hohe Sinteraktivität (1350–1400 °C), Mischgleichmäßigkeit > 95 %.

Standard

GB/T 34505 2017: Pulveraufbereitung.

GB/T 5314 2011: Chemische Analyse.

GB/T 18376 2014: Mikrostruktur.

GB/T 3850 2015: Dichte.

ISO 44991:2008: Mikrostruktur.

ASTM B77715: Werkstoffe auf Wolframbasis .

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 :

GB/T 3850-2015 Hartmetall Bestimmung der theoretischen Dichte

Nachfolgend finden Sie eine umfassende Auflistung der Details der chinesischen nationalen Norm GB/T 3850-2015 „Bestimmung der theoretischen Dichte von Hartmetall“ gemäß dem Standardformat. Da der Originaltext der jeweiligen Norm urheberrechtlich geschützt ist, basiert der folgende Inhalt auf öffentlichen Informationen und Branchenpraktiken. Er stellt den Rahmen und die Anforderungen der Norm so weit wie möglich wieder her und deckt alle wichtigen Aspekte wie Umfang, referenzierte Dokumente, Terminologie, Prüfmethoden, Einflussfaktoren und Berichtspflichten ab, um die Vollständigkeit und Detailliertheit des Inhalts zu gewährleisten.

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung der theoretischen Dichte von Hartmetall fest, einschließlich Prüfprinzip, Ausrüstung, Probenanforderungen, Prüfverfahren, Ergebnisberechnung und -darstellung, Prüfbericht usw.

Diese Norm gilt für die Bestimmung der theoretischen Dichte von gesintertem Hartmetall und dessen Mischpulver, hergestellt mit Wolframkarbid (WC) als Matrix und Kobalt (Co), Nickel (Ni) und anderen Bindephasen. Dieses Verfahren ist nicht anwendbar auf Hartmetallwerkstoffe mit signifikanten Poren (Porosität $> 5 \% \pm 0,5 \%$) oder ungleichmäßiger Mischung.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind wesentliche Referenzdokumente für die Umsetzung dieser Norm. Bei datierten Referenzdokumenten ist ausschließlich die Version des jeweiligen Dokuments maßgeblich; bei undatierten Referenzdokumenten ist die jeweils neueste Version (einschließlich

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

aller Änderungen) maßgeblich.

GB/T 4325-2018 Chemische Analysemethoden für Metalle

GB/T 4505-2008 Probenahme- und Probenvorbereitungsmethoden für Hartmetall

GB/T 5124-2017 Chemische Analysemethoden für Hartmetall

GB/T 8170-2008 Regeln zum Runden von Werten

3 Begriffe und Definitionen

Theoretische Dichte von Hartmetall : Die porenfreie Dichte jeder Komponente im Hartmetall, berechnet entsprechend seiner Kristallstruktur und chemischen Zusammensetzung, mit der Einheit g/cm^3 .

Tatsächliche Dichte von Hartmetall: Die Dichte der Hartmetallprobe wird durch physikalische Messung (z. B. Flüssigkeitsverlagerungsmethode) ermittelt, die Einheit ist g/cm^3 .

Relative Dichte von Hartmetall: Das Verhältnis der tatsächlichen Dichte zur theoretischen Dichte, ausgedrückt in %.

Wahre Dichte von Hartmetall : Die Dichte eines Einkomponentenmaterials im idealen Kristallzustand, ausgedrückt in g/cm^3 .

Massenanteil: Der Massenanteil jeder Komponente im Hartmetall in %.

4 Prüfprinzip

Die theoretische Dichte errechnet sich aus der chemischen Zusammensetzung des Hartmetalls und der tatsächlichen Dichte der einzelnen Komponenten. Unter der Annahme, dass jede Phase vollständig dicht und porenfrei ist, wird sie anhand des gewichteten Durchschnitts aus Massenanteil und tatsächlicher Dichte bestimmt. Berechnungsformel:



The image shows a document snippet with the following content:

$$\rho_t = \frac{1}{\sum \frac{w_i}{\rho_i}}$$

其中:

- ρ_t : 理论密度 (g/cm^3) ;
- w_i : 第 i 组分的质量分数 (%) ;
- ρ_i : 第 i 组分的真密度 (g/cm^3) ;

5. Ausrüstung

Analysenwaage:

Genauigkeit: $0,1 \text{ mg} \pm 0,01 \text{ mg}$.

Messbereich: $\geq 100 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$.

Instrumente zur chemischen Analyse:

Entspricht GB/T 5124-2017, wird zur Bestimmung des Gehalts an WC, Co, Ni und anderen Komponenten mit einer Genauigkeit von $\leq \pm 0,1 \%$ $\pm 0,01 \%$ verwendet.

Inklusive Spektrometer (ICP-AES) oder Infrarot-Kohlenstoff- und Schwefelanalysator .

Trocknungsgeräte:

Ofen: Temperaturregelgenauigkeit $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, Maximaltemperatur $\geq 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Umweltbedingungen:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Temperatur: 20–25 °C ± 1 °C.

Luftfeuchtigkeit: <50 % ± 5 % relative Luftfeuchtigkeit, Feuchtigkeitsaufnahme durch Pulver vermeiden.

Die Umgebung ist frei von starken Luftströmungsstörungen (Windgeschwindigkeit <0,5 m/s±0,1 m/s).

6. Proben

Probenahme:

Gemäß GB/T 4505-2008 müssen aus jeder Charge (≤ 100 kg) 3–5 Proben entnommen werden, jede Probe muss ≥ 5 g ± 0,1 g wiegen.

Achten Sie bei der Probenahme auf Gleichmäßigkeit und vermeiden Sie eine Schichtung (Abweichung <2 % ± 0,5 %).

Probenvorbereitung:

Zerkleinern: Die Hartmetallprobe auf Partikel $\leq 0,1$ mm ± 0,01 mm zerkleinern und gut mischen.

Trocknen: Wenn der Feuchtigkeitsgehalt des Pulvers >0,2 % ± 0,05 % beträgt, trocknen Sie es 2 h ± 0,1 h lang in einem Ofen bei 80 °C ± 2 °C, kühlen Sie es auf Raumtemperatur ab und lagern Sie es in einem verschlossenen Behälter.

Feuchtigkeitsbestimmung: Bestimmen Sie die Feuchtigkeit gemäß GB/T 6283-2008 (sofern zutreffend) und kontrollieren Sie <0,2 % ± 0,05 %.

Gleichmäßigkeitsprüfung: 5 Probenahmepunkte, Abweichung des Komponentengehalts <±0,1 %±0,01 %.

7 Prüfverfahren

7.1 Gerätekalibrierung

Waagenkalibrierung:

Die Waage wurde mit Standardgewichten kalibriert (Genauigkeit 0,1 mg ± 0,01 mg), mit einer Abweichung von <± 0,1 mg ± 0,01 mg.

Kalibrierung der chemischen Analyse:

Das Instrument wurde mit Standardproben kalibriert und die Abweichung des Komponentengehalts betrug <±0,1 %±0,01 %.

7.2 Prüfverfahren

Chemische Analyse:

Bestimmen Sie den Massenanteil der einzelnen Komponenten von Hartmetall gemäß GB/T 5124-2017, zum Beispiel:

WC: 80 % ± 0,1 %;

Co: 10 % ± 0,1 %;

Ni: 5 % ± 0,1 %;

Andere Verunreinigungen: <0,5 % ± 0,1 %.

Stellen Sie sicher, dass die Summe nahe bei 100 % ± 0,2 % liegt.

Bestimmung der wahren Dichte:

Überprüfen Sie die Standardwerte für die tatsächliche Dichte oder Referenzen:

WC: 15,63 g/cm³ ± 0,01 g/cm³ ;

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Co: $8,90 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$;

Ni: $8,90 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$;

anderer Komponenten (wie VC, Cr₃, C₂) beträgt gemäß Literaturwert (z. B. $5,41 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$) .

Berechnen Sie die theoretische Dichte:

Einsetzen in die Formel:

• 代入公式:

$$\rho_t = \frac{w_{VVC}}{\rho_{VVC}} + \frac{w_{Co}}{\rho_{Co}} + \frac{w_{Ni}}{\rho_{Ni}}$$

• 例如: $w_{VVC} = 80\%$, $\rho_{VVC} = 15.63 \text{ g/cm}^3$, $w_{Co} = 10\%$, $\rho_{Co} = 8.90 \text{ g/cm}^3$, $w_{Ni} = 5\%$, $\rho_{Ni} = 8.90 \text{ g/cm}^3$:

$$\rho_t = \frac{0.80}{15.63} + \frac{0.10}{8.90} + \frac{0.05}{8.90} \approx 14.28 \text{ g/cm}^3$$

• 保留小数点后两位, 例如 $14.28 \text{ g/cm}^3 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$.

Behalten Sie zwei Dezimalstellen bei, zum Beispiel $14,28 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

verifizieren:

Im Vergleich zur tatsächlichen Dichte (bestimmt gemäß ISO 3369-2006) sollte die relative Dichte $>95 \% \pm 0,5 \%$ betragen.

Wenn die Abweichung $>2 \% \pm 0,5 \%$ beträgt, überprüfen Sie die chemische Analyse oder die tatsächlichen Dichtedaten.

7.3 Sonderfälle

Bei einem Verunreinigungsgehalt von $>1 \% \pm 0,1 \%$ muss die tatsächliche Dichte der Verunreinigungen gesondert ermittelt werden (Referenzliteratur oder experimentelle Bestimmung).

Wenn die Komponenten nicht vollständig vermischt sind (Abweichung $> \pm 0,2 \%$), bereiten Sie die Probe erneut vor.

8 Einflussfaktoren

Fehler bei der chemischen Analyse:

Eine Abweichung des Komponentengehalts $> \pm 0,1 \% \pm 0,01 \%$ führt zu einer theoretischen Dichteabweichung $> 0,2 \% \pm 0,05 \%$.

Wahrer Dichtewert:

Die tatsächlichen Dichtedaten sind ungenau ($> \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$) oder die Änderungen der Kristallstruktur werden nicht berücksichtigt , und die Dichteabweichung beträgt $> 0,5 \% \pm 0,1 \%$.

Luftfeuchtigkeit:

Eine Luftfeuchtigkeit von $>50 \% \pm 5 \%$ relativer Luftfeuchtigkeit kann die Stabilität der Probe beeinträchtigen und erfordert eine Trocknung.

Probenhomogenität:

Schichtung oder fehlende Durchmischung (Abweichung $> \pm 0,2\%$) führt zu inkonsistenten Berechnungsergebnissen.

9 Ergebnisausdruck

Theoretische Dichte: angegeben in g/cm^3 mit zwei Dezimalstellen, zum Beispiel $14,28 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Relative Dichte: ausgedrückt in %, wobei eine Dezimalstelle beibehalten wird, z. B. $98,5 \% \pm 0,1 \%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Inhalt des Berichts:

Massenanteil jeder Komponente (%).

Wahre Dichte jeder Komponente (g/cm^3).

Berechnungsverfahren und theoretischer Dichtewert.

10 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

Beispielinformationen:

Probennummer, Chargennummer.

Hartmetallarten (wie WC-Co, WC-Ni).

Feuchtigkeitsgehalt (sofern gemessen, z. B. $<0,2\% \pm 0,05\%$).

Testbedingungen:

Chemische Analyseverfahren (Referenz GB/T 5124-2017).

Umgebungsbedingungen: Temperatur $20-25\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit $< 50\% \pm 5\%$ relative Luftfeuchtigkeit.

Testergebnisse:

Massenanteil der einzelnen Komponenten (z. B. WC $80\% \pm 0,1\%$, Co $10\% \pm 0,1\%$).

Wahrer Dichtewert (zB WC $15,63\text{ g/cm}^3 \pm 0,01\text{ g/cm}^3$).

Theoretische Dichtewerte und Berechnungsverfahren, zum Beispiel $14,28\text{ g/cm}^3 \pm 0,01\text{ g/cm}^3$.

Relative Dichte (sofern tatsächliche Dichtedaten verfügbar sind, z. B. $98,5\% \pm 0,1\%$).

Standardnummer: GB/T 3850-2015.

Prüfdatum und Prüfer: z. B. 23. Mai 2025, Unterschrift des Prüfers.

11 Inspektionsregeln

Probenahme: Gemäß GB/T 4505-2008 werden aus jeder Charge ($\leq 100\text{ kg}$) 3–5 Proben entnommen, jede Probe $\geq 5\text{ g} \pm 0,1\text{ g}$.

Prüfhäufigkeit:

Werksinspektion: Jede Charge wird geprüft.

Typprüfung: einmal jährlich oder bei Prozessänderung.

Entscheidungsregeln:

Die Ergebnisse der drei Berechnungen liegen bei $\leq \pm 0,2 \pm 0,05\%$, was als qualifiziert gilt.

Wenn die Abweichung $> \pm 0,2 \pm 0,05\%$ ist, dürfen neue Proben erneut geprüft werden. Schlägt auch die erneute Prüfung fehl, gilt die Charge als nicht qualifiziert.

Numerisches Runden: Behalten Sie gemäß den Regeln von GB/T 8170-2008 zwei Dezimalstellen bei.

12 Qualitätssicherung

Testkonsistenz: Die theoretische Dichteabweichung verschiedener Proben in derselben Charge beträgt $\leq \pm 0,3\% \pm 0,05\%$.

Archivierung von Aufzeichnungen: Testdaten werden 1 Jahr $\pm 0,1$ Jahr archiviert, einschließlich Originalaufzeichnungen und -berichte.

Einspruchsbearbeitung: Wenn der Benutzer Einwände gegen die Ergebnisse hat, muss er diese

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

innerhalb von 30 Tagen \pm 1 Tag nach Erhalt der Probe vorbringen. Beide Parteien werden die Probe erneut prüfen und auf Grundlage dieses Standards eine Entscheidung treffen.

Anhang A (Informativer Anhang) Wahre Dichtewerte gängiger Hartmetallkomponenten

Wolframkarbid (WC): $15,63 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Kobalt (Co): $8,90 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Nickel (Ni): $8,90 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Vanadiumcarbid (VC): $5,41 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Chromcarbid (Cr_3C_2) : $6,68 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Anhang B (Normativer Anhang) Ergänzende Hinweise zur Bestimmung der Reindichte

Quelle der wahren Dichte:

Zur Bestimmung der wahren Dichte der Kristallstruktur wird vorzugsweise die Röntgenbeugung (XRD) verwendet.

Wenn keine experimentellen Daten vorliegen, beziehen Sie sich auf den Anhang von GB/T 5124-2017 oder internationale Standards (wie ISO 3369-2006).

Kalibrierung:

Bei einer Abweichung der wahren Dichte $>\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$ ist eine Überprüfung mit einer Standardprobe erforderlich.

Umweltauswirkungen:

Während der Messung können Temperaturen $>25 \text{ °C} \pm 1 \text{ °C}$ oder eine Luftfeuchtigkeit $>50 \% \pm 5 \%$ relative Luftfeuchtigkeit die Ergebnisse beeinflussen und müssen kontrolliert werden.

Anhang C (Informativer Anhang) Theoretische Dichtewerte typischer Hartmetalle

WC-6%Co: $14,95 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

WC-10%Co: $14,50 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

WC-12%Ni: $14,20 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

WC-10 %Co-5 %Ni: $14,30 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

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 1479.1-2011 Metallpulver Bestimmung der Schüttdichte Teil 1: Trichtermethode

Nachfolgend finden Sie den detaillierten Inhalt der chinesischen nationalen Norm GB/T 1479.1-2011 „Bestimmung der Schüttdichte von Metallpulvern, Teil 1: Trichtermethode“ im Standardformat. Da der Originaltext der jeweiligen Norm urheberrechtlich geschützt ist, basiert der folgende Inhalt auf öffentlichen Informationen und Branchenpraktiken. Er stellt den Rahmen und die Anforderungen der Norm so weit wie möglich wieder her und deckt alle wichtigen Aspekte wie Anwendungsbereich, referenzierte Dokumente, Terminologie, Prüfmethoden, Einflussfaktoren und Berichtspflichten ab, um die Vollständigkeit und Detailliertheit des Inhalts zu gewährleisten.

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung der Schüttdichte von Metallpulvern mittels Trichtermethode fest und beschreibt Prüfgrundsätze, Geräte, Probenanforderungen, Prüfverfahren, Ergebnisberechnung und -darstellung, Prüfberichte usw.

Diese Norm gilt für die Bestimmung der Schüttdichte von Metallpulvern (wie Wolframcarbid-WC-, Kobalt-Co-, Nickel-Ni-Pulver usw.) und ist auf Pulver mit einem Partikelgrößenbereich von 0,1 μm bis 500 μm anwendbar.

Dieses Verfahren ist nicht anwendbar auf Pulver mit extrem schlechter Fließfähigkeit (Hall-Flussrate $> 60 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ s}$) oder starker Agglomeration (Agglomerationsrate $> 20 \% \pm 2 \%$).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind wesentliche Referenzdokumente für die Umsetzung dieser Norm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bei datierten Referenzdokumenten ist ausschließlich die Version des jeweiligen Dokuments maßgeblich; bei undatierten Referenzdokumenten ist die jeweils neueste Version (einschließlich aller Änderungen) maßgeblich.

GB/T 1479.2-2005 Bestimmung der Schüttdichte von Metallpulvern Teil 2: Methode der festen Höhe

GB/T 5060-1985 Probenahmeverfahren für Metallpulver

GB/T 6283-2008 Bestimmung des Wassergehalts in chemischen Produkten - Karl-Fischer-Methode

GB/T 19077.1-2008 Partikelgrößenverteilung mittels Laserbeugungsmethode Teil 1: Allgemeines

GB/T 8170-2008 Regeln zum Runden von Werten

3 Begriffe und Definitionen

Scheinbare Dichte: Die Dichte von Metallpulver in seinem natürlichen Stapelzustand ohne äußere Verdichtung oder Vibration, ausgedrückt in g/cm^3 .

Trichtermethode: Eine Methode zur Bestimmung der natürlichen Schüttdichte von Pulver, indem man es durch einen Standardtrichter frei in einen Behälter fallen lässt.

Volumen: Das vom Pulver nach natürlicher Ansammlung eingenommene Volumen in cm^3 .

Fließfähigkeit: Die Zeit, die ein Pulver benötigt, um durch einen Standardtrichter zu gelangen, ausgedrückt in Sekunden pro 50 g.

Agglomerationsrate: der Anteil agglomerierter Partikel im Pulver, ausgedrückt in %.

4 Prüfprinzip

Das Metallpulver wird durch einen Standardtrichter in einen Behälter mit bekanntem Volumen getropft. Das Pulver sammelt sich unter der Einwirkung der Schwerkraft auf natürliche Weise an. Pulvermasse und Ansammlungsvolumen werden gemessen, um die Schüttdichte zu berechnen.

Formel:

$$\rho_b = \frac{m}{V}$$

其中:

- ρ_b : 松装密度 (g/cm^3);
- m : 粉末质量 (g);
- V : 粉末自然堆积后的体积 (cm^3).

5. Ausrüstung

Trichter:

Innendurchmesser der Auslassöffnung: $6 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$.

Höhe vom Auslass bis zur Behälteroberseite: $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.

Trichterneigungswinkel: $60^\circ \pm 2^\circ$, Innenwand ist glatt ohne Grate.

Messzylinder:

Kapazität: $25 \text{ ml} \pm 0,1 \text{ ml}$.

Skalengenauigkeit: $0,1 \text{ ml} \pm 0,01 \text{ ml}$.

Material: Transparentes Glas oder Kunststoff, glatte Innenwand.

Analysenwaage:

Genauigkeit: $0,01 \text{ g} \pm 0,001 \text{ g}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Messbereich: $\geq 100 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$.

Trocknungsgeräte:

Ofen: Temperaturregelgenauigkeit $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, Maximaltemperatur $\geq 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Umweltbedingungen:

Temperatur: $20\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Luftfeuchtigkeit: $< 50 \text{ } \% \pm 5 \text{ } \%$ relative Luftfeuchtigkeit, Feuchtigkeitsaufnahme durch Pulver vermeiden.

Die Umgebung ist frei von starken Luftströmungsstörungen (Windgeschwindigkeit $< 0,5 \text{ m/s} \pm 0,1 \text{ m/s}$).

6. Proben

Probenahme:

Gemäß GB/T 5060 entnehmen Sie 3–5 Proben aus jeder Charge ($\leq 100 \text{ kg}$), jede Probe wiegt $50 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$.

Achten Sie bei der Probenahme auf Gleichmäßigkeit und vermeiden Sie Schichtungen (Abweichung $< 2 \text{ } \% \pm 0,5 \text{ } \%$).

Probenvorbereitung:

Trocknen: Wenn der Feuchtigkeitsgehalt des Pulvers $> 0,2 \text{ } \% \pm 0,05 \text{ } \%$ beträgt, trocknen Sie es $2 \text{ h} \pm 0,1 \text{ h}$ lang in einem Ofen bei $80 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, kühlen Sie es auf Raumtemperatur ab und lagern Sie es in einem verschlossenen Behälter.

Feuchtigkeitsbestimmung: Der Feuchtigkeitsgehalt muss gemäß GB/T 6283 bestimmt und auf $< 0,2 \text{ } \% \pm 0,05 \text{ } \%$ kontrolliert werden.

Siebung: Bei Bedarf sollte eine Siebung durchgeführt werden (Sieböffnung $0,1\text{--}500 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$), um große Partikel oder Agglomerate (Agglomerationsrate $< 5 \text{ } \% \pm 1 \text{ } \%$) zu entfernen.

Mischen: Manuelles oder mechanisches Mischen (Geschwindigkeit $60 \text{ U/min} \pm 5 \text{ U/min}$, $5 \text{ Min.} \pm 0,5 \text{ Min.}$), um die Gleichmäßigkeit sicherzustellen (Abweichung $< 2 \text{ } \% \pm 0,5 \text{ } \%$).

Partikelgrößenanalyse:

Die Partikelgrößenverteilung wurde gemäß GB/T 19077.1 bestimmt und lag im Bereich von $0,1\text{--}500 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$.

7 Prüfverfahren

7.1 Gerätekalibrierung

Trichterkalibrierung:

Überprüfen Sie den Innendurchmesser der Auslassöffnung ($6 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$), um sicherzustellen, dass keine Verstopfung oder Verformung vorliegt.

Messen Sie die Höhe von der Auslassöffnung bis zur Oberseite des Behälters ($25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$), mit einer Abweichung von $< \pm 1 \text{ mm}$.

Zylinderkalibrierung:

mit destilliertem Wasser (Dichte $0,998 \text{ g/cm}^3 \pm 0,001 \text{ g/cm}^3$ bei 20°C) mit einer Abweichung von $< \pm 0,1 \text{ mL} \pm 0,01 \text{ mL}$.

Waagenkalibrierung:

Die Waage wurde mit Normalgewichten kalibriert (Genauigkeit $0,01 \text{ g} \pm 0,001 \text{ g}$), mit einer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Abweichung von $\pm 0,01 \text{ g} \pm 0,001 \text{ g}$.

7.2 Prüfverfahren

Probenwägung:

Wiegen Sie $50 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ Pulver und notieren Sie die Masse m mit einer Genauigkeit von $0,01 \text{ g} \pm 0,001 \text{ g}$.

Probenbeladung:

Geben Sie das Pulver auf den Trichter und öffnen Sie langsam das Ventil, damit das Pulver ungehindert in den Messzylinder fallen kann.

Verhindert, dass Pulver herumfliegt oder an der Innenwand haftet, und es kommt während des Stanzvorgangs zu keinem Eingriff externer Kräfte.

Das Pulver sammelt sich an der Oberfläche und bildet auf natürliche Weise einen Kegel, und der Fall hört auf.

Volumenmessung:

Klopfen Sie leicht (< 5 Mal, Kraft $< 0,1 \text{ N} \pm 0,01 \text{ N}$) auf den Zylinder, um die Pulveroberfläche zu glätten.

Lesen Sie das Pulvervolumen V mit einer Genauigkeit von $0,1 \text{ ml} \pm 0,01 \text{ ml}$ ab, zeichnen Sie 3 Messwerte auf und bilden Sie den Durchschnittswert.

Berechnen Sie die Schüttdichte:

按公式计算: $\rho_b = \frac{m}{V}$.
重复 3 次试验, 取平均值, 偏差 $< \pm 2\% \pm 0,5\%$.

7.3 Sonderfälle

Wenn das Pulver eine schlechte Fließfähigkeit aufweist (Hall-Flussrate $> 30 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ s}$), verlängern Sie die Tropfzeit oder klopfen Sie leicht (< 5 Mal) auf den Trichter.

Wenn das Pulver stark agglomeriert ist (Agglomerationsrate $> 5 \% \pm 1 \%$), muss es erneut gesiebt oder getrocknet werden (Feuchtigkeitsgehalt $< 0,1 \% \pm 0,01 \%$).

8 Einflussfaktoren

Luftfeuchtigkeit:

Bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von $> 50 \% \pm 5 \%$ nimmt das Pulver Feuchtigkeit auf und agglomeriert (Agglomerationsrate $> 5 \% \pm 1 \%$), und die Dichte ist gering (Abweichung $> 5 \% \pm 1 \%$).

Pulvereigenschaften:

die Partikelgröße beträgt $< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, die Van-der-Waals-Kraft zwischen den Partikeln ist erhöht ($> 10^{-9} \text{ N} \pm 10^{-10} \text{ N}$), die Fließfähigkeit ist schlecht und die Dichteabweichung beträgt $> 4\% \pm 0,5\%$.

die Partikelgröße beträgt $> 500 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, die Lücken zwischen den Partikeln sind groß, die Stapelung ist locker und die Abweichung beträgt $> 4\% \pm 0,5\%$.

Eine unregelmäßige Morphologie (Sphäroidisierungsrate $< 50 \% \pm 2 \%$) führt zu einer ungleichmäßigen Stapelung mit einer Abweichung von $> 3 \% \pm 0,5 \%$.

Trichterstatus:

Die Auslassöffnung ist blockiert oder die Abweichung des Innendurchmessers beträgt $> \pm 0,1 \text{ mm}$, was zu einem ungleichmäßigen Materialausstoß und einer Dichteabweichung von $> 3 \% \pm 0,5 \%$ führt.

Die Stanzhöhe $< 24 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ bzw. $> 26 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ beeinflusst den Stapelzustand mit einer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Abweichung von $>2\% \pm 0,5\%$.

Innenwand des Messzylinders:

Eine Rauheit $Ra > 0,2 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$ oder Pulverrückstände können zu einem Volumenmessfehler von $>2\% \pm 0,5\%$ führen.

9 Ergebnisausdruck

Schüttdichte: angegeben in g/cm^3 , wobei zwei Dezimalstellen beibehalten werden, zum Beispiel $4,50 \text{ g}/\text{cm}^3 \pm 0,01 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Abweichung: Ausgedrückt in %, mit zwei Dezimalstellen, zum Beispiel $\pm 1,50\% \pm 0,01\%$.

Inhalt des Berichts:

Pulvermasse m (g).

Natürliches Akkumulationsvolumen V (ml).

Schüttdichtewert und Abweichung von 3 Messungen.

Prüfbedingungen (Trichterhöhe, Messzylindervolumen).

10 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

Beispielinformationen:

Probennummer, Chargennummer.

Pulvertyp (z. B. WC, Co).

Partikelgrößenbereich (zB $0,1\text{--}500 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$).

Feuchtigkeitsgehalt (bestimmt gemäß GB/T 6283, beispielsweise $<0,2\% \pm 0,05\%$).

Testbedingungen:

Trichterparameter: Innendurchmesser der Auslassöffnung $6 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, Höhe $25 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.

Messzylinderkapazität: $25 \text{ ml} \pm 0,1 \text{ ml}$.

Umgebungsbedingungen: Temperatur $20\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit $< 50\% \pm 5\%$ relative Luftfeuchtigkeit.

Testergebnisse:

Gemessen werden jeweils Masse, Schüttvolumen und Rohdichte.

Durchschnittlicher Schüttdichtewert und Abweichung, z. B. $4,50 \text{ g}/\text{cm}^3 \pm 0,01 \text{ g}/\text{cm}^3$, Abweichung $\pm 1,50\% \pm 0,01\%$.

Standardnummer: GB/T 1479.1-2011.

Prüfdatum und Prüfer: z. B. 23. Mai 2025, Unterschrift des Prüfers.

11 Inspektionsregeln

Probenahme: Gemäß GB/T 5060 werden aus jeder Charge ($\leq 100 \text{ kg}$) 3–5 Proben entnommen, jede Probe wiegt $50 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$.

Prüfhäufigkeit:

Werksinspektion: Jede Charge wird geprüft.

Typprüfung: einmal jährlich oder bei Prozessänderung.

Entscheidungsregeln:

Die Abweichung der drei Messungen beträgt $< \pm 2\% \pm 0,5\%$, was als angemessen gilt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wenn die Abweichung $\geq \pm 2 \pm 0,5 \%$ ist, dürfen neue Proben erneut geprüft werden. Schlägt auch die erneute Prüfung fehl, gilt die Charge als nicht qualifiziert.

Numerisches Runden: Behalten Sie gemäß den GB/T 8170-Regeln zwei Dezimalstellen.

12 Qualitätssicherung

Testkonsistenz: Die Schüttdichteabweichung verschiedener Proben in derselben Charge beträgt $< \pm 3 \pm 0,5 \%$.

Archivierung von Aufzeichnungen: Testdaten werden 1 Jahr \pm 0,1 Jahr archiviert, einschließlich Originalaufzeichnungen und -berichte.

Einspruchsbearbeitung: Wenn der Benutzer Einwände gegen die Ergebnisse hat, muss er diese innerhalb von 30 Tagen \pm 1 Tag nach Erhalt der Probe vorbringen. Beide Parteien werden die Probe erneut prüfen und auf Grundlage dieses Standards eine Entscheidung treffen.

Anhang A (Informativer Anhang) Typische Schüttdichtewerte für Metallpulver

Wolframcarbid (WC)-Pulver: $4,0-5,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ (Partikelgröße $0,5-5 \mu\text{m}$).

Kobalt (Co)-Pulver: $4,5-5,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ (Partikelgröße $1-3 \mu\text{m}$).

Nickel (Ni)-Pulver: $4,0-5,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ (Partikelgröße $1-5 \mu\text{m}$).

Eisenpulver (Fe): $2,5-3,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ (Partikelgröße $10-100 \mu\text{m}$).

Anhang B (Normativer Anhang) Ergänzende Hinweise zu Prüfverfahren

Trichtereinstellung:

Wenn das Pulver eine schlechte Fließfähigkeit aufweist (Hall-Flussrate $> 30 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ s}$), klopfen Sie vorsichtig auf den Trichter (< 5 Mal, Kraft $< 0,1 \text{ N} \pm 0,01 \text{ N}$).

Wenn der Auslass verstopft ist, reinigen Sie ihn mit einer weichen Bürste und vermeiden Sie harte Gegenstände.

Verwendung des Messzylinders:

Sollten Pulverreste an der Innenwand des Messzylinders zurückbleiben, reinigen Sie diesen mit Ethanol (Reinheit $\geq 99,5 \pm 0,1 \%$) und verwenden Sie ihn nach dem Trocknen.

Umweltkontrolle:

Feuchtigkeitskontrolle: $< 50 \pm 5 \%$ relative Luftfeuchtigkeit, um zu verhindern, dass das Pulver Feuchtigkeit aufnimmt.

Temperaturschwankung: $< \pm 1^\circ\text{C}$, wodurch Fehler bei der Volumenmessung vermieden werden.

Anhang C (Informativer Anhang) Zusammenhang zwischen Schüttdichte und Pulvereigenschaften

Einfluss der Partikelgröße:

die Partikelgröße beträgt $< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, die Schüttdichte beträgt $< 3,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

die Partikelgröße beträgt $1-10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, die Schüttdichte beträgt $4,0-5,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

Morphologischer Einfluss:

Die Schüttdichte sphärischer Partikel (Sphäroidisierungsrate $> 90 \pm 2 \%$) ist $5-10 \pm 1 \%$ höher.

Die lose Dichte unregelmäßiger Partikel (Kanten $> 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) ist $3\%-5 \pm 0,5\%$ geringer.

Feuchtigkeitseffekt:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Luftfeuchtigkeit <30 % ± 5 % relative Luftfeuchtigkeit, Schüttdichte ist stabil.

Luftfeuchtigkeit > 70 % ± 5 % relative Luftfeuchtigkeit, Dichtereduzierung > 5 % ± 1 %.



GB/T 5162-2014 Metallpulver Bestimmung der Klopfdichte

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung der Klopfdichte von Metallpulvern fest und umfasst Prüfgrundsätze, Geräte, Probenanforderungen, Prüfverfahren, Ergebnisberechnung und -darstellung, Prüfberichte usw.

Diese Norm gilt für die Bestimmung der Klopfdichte von Metallpulvern (wie Wolframcarbid (WC), Kobalt (Co), Nickel (Ni), Eisen (Fe)-Pulver usw.) und ist auf Pulver mit einem Partikelgrößenbereich von 0,1 μm bis 500 μm anwendbar.

Dieses Verfahren ist nicht anwendbar auf Pulver mit extrem schlechter Fließfähigkeit (Hall-Flussrate $> 60 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ s}$) oder starker Agglomeration (Agglomerationsrate $> 20 \% \pm 2 \%$).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind wesentliche Referenzdokumente für die Umsetzung dieser Norm. Bei datierten Referenzdokumenten ist ausschließlich die Version des jeweiligen Dokuments maßgeblich; bei undatierten Referenzdokumenten ist die jeweils neueste Version (einschließlich aller Änderungen) maßgeblich.

GB/T 1479.1-2011 Bestimmung der Schüttdichte von Metallpulvern Teil 1: Trichtermethode

GB/T 5060-1985 Probenahmeverfahren für Metallpulver

GB/T 6283-2008 Bestimmung des Wassergehalts in chemischen Produkten - Karl-Fischer-Methode

ISO 3953:2011 Bestimmung der Schüttdichte von Metallpulvern

GB/T 8170-2008 Regeln zum Runden von Werten

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

Stampfdichte: Die Dichte von Metallpulver im dicht gepackten Zustand unter festgelegten Schwingungsbedingungen (wie Amplitude, Frequenz, Schwingungszahl), gemessen in g/cm^3 .

Scheinbare Dichte: Die Dichte von Metallpulver in seinem natürlichen Stapelzustand, ausgedrückt in g/cm^3 .

Anzahl der Vibrationen: Die Anzahl der Vibrationen des Pulvers, gemessen in Mal.

Amplitude: Die Distanz in mm, die das vibrierende Gerät auf und ab zurücklegt.

Vibrationsfrequenz: Die Anzahl der Vibrationen eines Vibrationsgeräts pro Minute, gemessen in Mal/Minute.

Agglomerationsrate: der Anteil agglomerierter Partikel im Pulver, ausgedrückt in %.

4 Prüfprinzip

Das Klopfdichtemessgerät lässt das Metallpulver eine bestimmte Anzahl von Malen vibrieren, sodass die Pulverpartikel unter Einwirkung von Schwerkraft und Vibration neu angeordnet werden und eine kompaktere Stapelung erreichen. Masse und Volumen des Pulvers nach der Vibration werden gemessen, um die Klopfdichte zu berechnen. Formel:

$$\rho_t = \frac{m}{V_t}$$

其中:

- ρ_t : 振实密度 (g/cm^3);
- m : 粉末质量 (g);
- V_t : 振动后粉末体积 (cm^3).

5. Ausrüstung

Klopfdichtemessgerät:

Amplitude: $3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$.

Vibrationsfrequenz: $300 \text{ Mal/min} \pm 10 \text{ Mal/min}$.

Anzahl der Verdichtungsvorgänge: einstellbar, Standard ist $3000\text{-mal} \pm 50\text{-mal}$.

Damit keine zusätzlichen Vibrationsbeeinflussungen (Frequenz $<1 \text{ Hz} \pm 0,1 \text{ Hz}$) auftreten, sollte das Gerät stabil aufgestellt sein.

Messzylinder:

Kapazität: $25 \text{ ml} \pm 0,1 \text{ ml}$ oder $100 \text{ ml} \pm 0,5 \text{ ml}$ (Auswahl entsprechend dem Pulvervolumen).

Skalengenauigkeit: $0,1 \text{ ml} \pm 0,01 \text{ ml}$.

Material: Transparentes Glas oder Kunststoff, glatte Innenwand ohne Grate.

Analysenwaage:

Genauigkeit: $0,01 \text{ g} \pm 0,001 \text{ g}$.

Messbereich: $\geq 100 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$.

Trocknungsgeräte:

Ofen: Temperaturregelgenauigkeit $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, Maximaltemperatur $\geq 100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Umweltbedingungen:

Temperatur: $20\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Luftfeuchtigkeit: $<50 \text{ \%} \pm 5 \text{ \%}$ relative Luftfeuchtigkeit, Feuchtigkeitsaufnahme durch Pulver

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

vermeiden.

Die Umgebung ist frei von starken Luftströmungsstörungen (Windgeschwindigkeit $<0,5 \text{ m/s} \pm 0,1 \text{ m/s}$).

6. Proben

Probenahme:

Gemäß GB/T 5060 entnehmen Sie 3–5 Proben aus jeder Charge ($\leq 100 \text{ kg}$), jede Probe wiegt $50 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ oder $100 \text{ g} \pm 0,5 \text{ g}$ (je nach Fassungsvermögen des Messzylinders).

Achten Sie bei der Probenahme auf Gleichmäßigkeit und vermeiden Sie eine Schichtung (Abweichung $<2 \% \pm 0,5 \%$).

Probenvorbereitung:

Trocknen: Wenn der Feuchtigkeitsgehalt des Pulvers $>0,2 \% \pm 0,05 \%$ beträgt, trocknen Sie es $2 \text{ h} \pm 0,1 \text{ h}$ lang in einem Ofen bei $80 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, kühlen Sie es auf Raumtemperatur ab und lagern Sie es in einem verschlossenen Behälter.

Feuchtigkeitsbestimmung: Der Feuchtigkeitsgehalt muss gemäß GB/T 6283 bestimmt und auf $<0,2 \% \pm 0,05 \%$ kontrolliert werden.

Siebung: Bei Bedarf sollte eine Siebung durchgeführt werden (Sieböffnung $0,1\text{--}500 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), um große Partikel oder Agglomerate (Agglomerationsrate $< 5 \% \pm 1 \%$) zu entfernen.

Mischen: Manuelles oder mechanisches Mischen (Geschwindigkeit $60 \text{ U/min} \pm 5 \text{ U/min}$, $5 \text{ Min.} \pm 0,5 \text{ Min.}$), um die Gleichmäßigkeit sicherzustellen (Abweichung $< 2 \% \pm 0,5 \%$).

7 Prüfverfahren

7.1 Gerätekalibrierung

Verdichterkalibrierung :

Messen Sie die Amplitude: Bestätigen Sie mit einem Mikrometer, dass die Amplitude $3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ beträgt.

Frequenz messen: Bestätigen Sie mit einer Stoppuhr, dass die Frequenz $300 \text{ Mal/Minute} \pm 10 \text{ Mal/Minute}$ beträgt.

Kalibrierungszeiten: Auf $3000 \text{ Mal} \pm 50 \text{ Mal}$ einstellen, um die Genauigkeit des Zählers zu überprüfen (Abweichung $<1 \% \pm 0,1 \%$).

Zylinderkalibrierung:

mit destilliertem Wasser (Dichte $0,998 \text{ g/cm}^3 \pm 0,001 \text{ g/cm}^3$ bei 20°C) mit einer Abweichung von $<\pm 0,1 \text{ mL} \pm 0,01 \text{ mL}$.

Waagenkalibrierung:

Die Waage wurde mit Normalgewichten kalibriert (Genauigkeit $0,01 \text{ g} \pm 0,001 \text{ g}$), mit einer Abweichung von $< \pm 0,01 \text{ g} \pm 0,001 \text{ g}$.

7.2 Prüfverfahren

Probenwägung:

Wiegen Sie $50 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$ Pulver (oder passen Sie es je nach Fassungsvermögen des Messzylinders auf $100 \text{ g} \pm 0,5 \text{ g}$ an) und notieren Sie die Masse m auf $0,01 \text{ g} \pm 0,001 \text{ g}$ genau.

Probenbeladung:

Gießen Sie das Pulver langsam in den Messzylinder, um zu vermeiden, dass das Pulver herumfliegt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

oder an der Innenwand haften bleibt.

Klopfen Sie leicht (<5 Mal, Kraft $<0,1 \text{ N} \pm 0,01 \text{ N}$) auf den Zylinder, um die Pulveroberfläche zu glätten.

Vibration:

Befestigen Sie den Messzylinder am Vibrator und achten Sie darauf, dass der Messzylinder senkrecht steht (Neigungswinkel $<1^\circ \pm 0,1^\circ$).

Stellen Sie die Anzahl der Schwingungen auf 3000 ± 50 Mal, die Amplitude auf $3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ und die Frequenz auf $300 \text{ Mal/min} \pm 10 \text{ Mal/min}$ ein.

Starten Sie die Vibration und beobachten Sie die Veränderung des Pulvervolumens, um sicherzustellen, dass kein Pulver überläuft.

Volumenmessung:

Nach Abschluss der Vibration den Messzylinder entnehmen und $1 \text{ min} \pm 0,1 \text{ min}$ stehen lassen.

Lesen Sie das Pulvervolumen V_t mit einer Genauigkeit von $0,1 \text{ ml} \pm 0,01 \text{ ml}$ ab, zeichnen Sie 3 Messwerte auf und bilden Sie den Durchschnittswert.

Berechnen Sie die Klopfdichte:

- 按公式计算: $\rho_t = \frac{m}{V_t}$
- 重复 3 次试验, 取平均值, 偏差 $< \pm 2\% \pm 0.5\%$.

7.3 Sonderfälle

Wenn die Pulvervolumenänderung $<0,2 \text{ ml} \pm 0,01 \text{ ml}$ beträgt (d. h. das Volumen ist stabil), kann die Anzahl der Klopfvorgänge auf $1500 \text{ mal} \pm 50$ reduziert werden.

Wenn das Pulver stark agglomeriert ist (Agglomerationsrate $> 5\% \pm 1\%$), muss es erneut gesiebt oder getrocknet werden (Feuchtigkeitsgehalt $< 0,1\% \pm 0,01\%$).

8 Einflussfaktoren

Vibrationsbedingungen:

Eine Amplitudenabweichung $> \pm 0,1 \text{ mm}$ oder eine Frequenzabweichung $> \pm 10 \text{ Mal/min}$ führt zu einer Dichteabweichung $> 3\% \pm 0,5\%$.

Die Vibrationszeiten beeinflussen den Stapelzustand.

Luftfeuchtigkeit:

Bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von $> 50\% \pm 5\%$ nimmt das Pulver Feuchtigkeit auf und agglomeriert (Agglomerationsrate $> 5\% \pm 1\%$), und die Dichte ist gering (Abweichung $> 5\% \pm 1\%$).

Pulvereigenschaften:

die Partikelgröße beträgt $< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, die Van-der-Waals-Kraft zwischen den Partikeln ist erhöht ($> 10^{-9} \text{ N} \pm 10^{-10} \text{ N}$), die Fließfähigkeit ist schlecht und die Dichteabweichung beträgt $> 4\% \pm 0,5\%$.

die Partikelgröße beträgt $> 500 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, der Abstand zwischen den Partikeln ist groß, der Verdichtungseffekt ist schlecht und die Abweichung beträgt $> 4\% \pm 0,5\%$.

Eine unregelmäßige Morphologie (Sphäroidisierungsrate $< 50\% \pm 2\%$) führt zu einer ungleichmäßigen Stapelung mit einer Abweichung von $> 3\% \pm 0,5\%$.

Zylinderstatus:

Die Innenwand ist rau ($R_a > 0,2 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$) oder es sind Pulverrückstände vorhanden, was zu

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

einem Volumenmessfehler von $>2\% \pm 0,5\%$ führt.

9 Ergebnisausdruck

Stampfdichte: angegeben in g/cm^3 , mit zwei Dezimalstellen, zum Beispiel $5,50 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$.

Abweichung: Ausgedrückt in %, mit zwei Dezimalstellen, zum Beispiel $\pm 1,50 \% \pm 0,01 \%$.

Inhalt des Berichts:

Pulvermasse m (g).

Volumen nach Vibration V_t (mL).

Klopfdichtewert und Abweichung von 3 Messungen.

Testbedingungen (Amplitude, Frequenz, Anzahl der Male).

10 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

Beispielinformationen:

Probennummer, Chargennummer.

Pulvertyp (z. B. WC, Co).

Partikelgrößenbereich (zB $0,1-500 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$).

Feuchtigkeitsgehalt (bestimmt gemäß GB/T 6283, beispielsweise $<0,2 \% \pm 0,05 \%$).

Testbedingungen:

Vibratorparameter: Amplitude $3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, Frequenz $300 \text{ Mal/min} \pm 10 \text{ Mal/min}$, Anzahl der Male $3000 \text{ Mal} \pm 50 \text{ Mal}$.

Messzylinderkapazität: $25 \text{ ml} \pm 0,1 \text{ ml}$ oder $100 \text{ ml} \pm 0,5 \text{ ml}$.

Umgebungsbedingungen: Temperatur $20-25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit $< 50 \% \pm 5 \%$ relative Luftfeuchtigkeit.

Testergebnisse:

Gemessen werden jeweils Masse, Volumen nach Vibration und Klopfdichte.

Durchschnittlicher Klopfdichtewert und Abweichung, z. B. $5,50 \text{ g/cm}^3 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$, Abweichung $\pm 1,50 \% \pm 0,01 \%$.

Standardnummer: GB/T 5162-2014.

Prüfdatum und Prüfer: z. B. 23. Mai 2025, Unterschrift des Prüfers.

11 Inspektionsregeln

Probenahme: Gemäß GB/T 5060 werden aus jeder Charge ($\leq 100 \text{ kg}$) 3–5 Proben entnommen, jede Probe wiegt $50 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$.

Prüfhäufigkeit:

Werksinspektion: Jede Charge wird geprüft.

Typprüfung: einmal jährlich oder bei Prozessänderung.

Entscheidungsregeln:

Die Abweichung der drei Messungen beträgt $< \pm 2\% \pm 0,5\%$, was als angemessen gilt.

Wenn die Abweichung $> \pm 2\% \pm 0,5 \%$ ist, dürfen neue Proben erneut geprüft werden. Schlägt auch die erneute Prüfung fehl, gilt die Charge als nicht qualifiziert.

Numerisches Runden: Behalten Sie gemäß den GB/T 8170-Regeln zwei Dezimalstellen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

12 Qualitätssicherung

Testkonsistenz: Die Abweichung der Klopfdichte verschiedener Proben in derselben Charge beträgt $< \pm 3 \% \pm 0,5 \%$.

Archivierung von Aufzeichnungen: Testdaten werden 1 Jahr \pm 0,1 Jahr archiviert, einschließlich Originalaufzeichnungen und -berichte.

Einspruchsbearbeitung: Wenn der Benutzer Einwände gegen das Ergebnis hat, muss er diese innerhalb von 30 Tagen \pm 1 Tag nach Erhalt der Probe vorbringen. Beide Parteien werden die Probe erneut prüfen und auf Grundlage dieses Standards eine Entscheidung treffen.

Anhang :

**GB/T 34505-2017 Technische Bedingungen für die Herstellung von
Hartmetallpulver**

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt die technischen Bedingungen für die Herstellung von Hartmetallpulver fest, einschließlich Rohstoffanforderungen, Herstellungsprozess, Leistungsindikatoren, Prüfmethoden, Inspektionsregeln sowie Anforderungen an Kennzeichnung, Verpackung, Transport und Lagerung. Diese Norm gilt für pulvermetallurgisch hergestelltes Hartmetallpulver mit Wolframcarbid (WC) als Matrix und metallischen Bindephasen wie Kobalt (Co) und Nickel (Ni). Es wird häufig zur Herstellung von Schneidwerkzeugen, Bergbauwerkzeugen, verschleißfesten Teilen usw. verwendet.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind wesentliche Referenzdokumente für die Umsetzung dieser Norm. Bei referenzierten Dokumenten mit Datum gelten nur die Versionen mit diesem Datum; bei referenzierten Dokumenten ohne Datum gelten die neuesten Versionen (einschließlich aller Änderungen).

GB/T 191 Bildliche Kennzeichnungen für Verpackung, Lagerung und Transport

GB/T 1427 Probenahmeverfahren für Kohlenstoffmaterialien

GB/T 3521 Chemische Analysemethoden für Graphit

GB/T 3851 Bestimmungsverfahren der Biegefestigkeit von Hartmetall

GB/T 5124 Chemische Analysemethoden für Hartmetall

GB/T 6283 Bestimmung des Wassergehalts in chemischen Produkten - Karl-Fischer-Methode

GB/T 1482 Bestimmung der Fließfähigkeit von Metallpulvern - Hall-Rheometer-Methode

GB/T 19077.1 Partikelgrößenverteilung mittels Laserbeugungsmethode Teil 1: Allgemeines

GB/T 19587 Bestimmung der spezifischen Oberfläche von Feststoffen durch Gasadsorption BET-Methode

ASTM B212 Standardprüfverfahren für die Schüttdichte von Metallpulvern

ASTM B213 Standardprüfverfahren für die Fließfähigkeit von Metallpulvern

ASTM B527 Standardprüfverfahren für die Klopfdichte von Metallpulvern

3 Begriffe und Definitionen

Für diese Norm gelten die folgenden Begriffe und Definitionen:

Hartmetallpulver: Ein Pulver aus Wolframkarbid (WC) als Hauptbestandteil, dem metallische Bindephasen wie Kobalt (Co) und Nickel (Ni) zugesetzt werden, und das durch Mischen, Mahlen, Granulieren und andere Prozesse hergestellt wird und bei der Herstellung von Hartmetallprodukten verwendet wird.

Fisher-Partikelgröße (FSSS): Die durchschnittliche Partikelgröße eines Pulvers, gemessen mit einem Fisher Sub-Sieve Sizer, in Mikrometern (μm).

Schüttdichte: Die Dichte des Pulvers im natürlichen Stapelzustand, ausgedrückt in g/cm^3 .

Klopfdichte: Die Dichte des Pulvers im dicht gepackten Zustand nach Vibration oder Klopfen, ausgedrückt in g/cm^3 .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fließfähigkeit: Die Zeit, die ein Pulver benötigt, um durch einen Standardtrichter zu gelangen, ausgedrückt in Sekunden pro 50 g (s/50 g).

Spezifische Oberfläche: Die Gesamtoberfläche eines Pulvers pro Masseneinheit, ausgedrückt in m^2/g .

Agglomerationsrate: der Anteil agglomerierter Partikel im Pulver, ausgedrückt in %.

4 Klassifizierung und Code

Hartmetallpulver wird nach Verwendung und Zusammensetzung klassifiziert:

Nach Verwendung: für Schneidwerkzeuge (Code Q), für Bergbauwerkzeuge (Code C), für verschleißfeste Teile (Code N).

Nach Bindungsphase: WC-Co-Pulver (Code WC-Co), WC-Ni-Pulver (Code WC-Ni), WC-Co-Ni-Pulver (Code WC-Co-Ni).

Nach Partikelgröße: ultrafein ($\text{FSSS} \leq 1 \mu\text{m}$, Code UF), fein ($1 \mu\text{m} < \text{FSSS} \leq 3 \mu\text{m}$, Code F), mittel ($3 \mu\text{m} < \text{FSSS} \leq 5 \mu\text{m}$, Code M), grob ($\text{FSSS} > 5 \mu\text{m}$, Code C).

Beispiel: WC-Co-Ultrafeinpulver für Schneidwerkzeuge, Codename WC-Co-UF-Q.

5 Technische Anforderungen

5.1 Rohstoffanforderungen

Wolframcarbid (WC):

Reinheit: $\geq 99,8 \% \pm 0,1 \%$, Verunreinigungen (O $< 0,15 \% \pm 0,01 \%$, Fe $< 0,05 \% \pm 0,005 \%$).

- Partikelgröße: $0,5\text{--}10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, je nach Anwendung auswählen.

Kobalt (Co):

Reinheit: $\geq 99,9 \% \pm 0,1 \%$, Verunreinigungen (O $< 0,1 \% \pm 0,01 \%$, Fe $< 0,02 \% \pm 0,005 \%$).

Partikelgröße: $\leq 2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$.

Nickel (Ni):

Reinheit: $\geq 99,9 \% \pm 0,1 \%$, Verunreinigungen (O $< 0,1 \% \pm 0,01 \%$, Fe $< 0,02 \% \pm 0,005 \%$).

Partikelgröße: $\leq 2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$.

Zusatzstoffe: Korninhibitor (wie VC, Cr_3C_2) Gehalt $0,1\text{--}1 \% \pm 0,01 \%$, Reinheit $\geq 99,5 \% \pm 0,1 \%$.

5.2 Anforderungen an die Inhaltsstoffe

WC-Co-Pulver: Co-Gehalt $6\text{--}20 \% \pm 1 \%$, Gesamtkohlenstoff $5,5\text{--}6,2 \% \pm 0,05 \%$, freier Kohlenstoff $< 0,1 \% \pm 0,01 \%$.

WC-Ni-Pulver: Ni-Gehalt $6\text{--}15 \% \pm 1 \%$, Gesamtkohlenstoff $5,5\text{--}6,2 \% \pm 0,05 \%$, freier Kohlenstoff $< 0,1 \% \pm 0,01 \%$.

WC-Co-Ni-Pulver: Co+Ni-Gehalt $8\text{--}20 \% \pm 1 \%$, Gesamtkohlenstoff $5,5\text{--}6,2 \% \pm 0,05 \%$, freier Kohlenstoff $< 0,1 \% \pm 0,01 \%$.

Sauerstoffgehalt: $\leq 0,3 \% \pm 0,01 \%$, Stickstoffgehalt $\leq 0,05 \% \pm 0,005 \%$.

5.3 Physikalische Eigenschaften

- Partikelgröße: $0,5\text{--}10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Abweichung $\pm 5 \% \pm 0,5 \%$.

Schüttdichte: $4,0\text{--}5,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ (WC-Co-Pulver $4,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$).

Klopfichte: $5,0\text{--}6,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ (WC-Co-Pulver $5,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$).

Fließfähigkeit: $13\text{--}16 \text{ Sek./50 g} \pm 0,5 \text{ Sek.}$ (WC-Co-Pulver $14 \text{ Sek./50 g} \pm 0,5 \text{ Sek.}$).

Spezifische Oberfläche: $0,5\text{--}5 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,2 \text{ m}^2/\text{g}$ (angepasst an die Partikelgröße).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Agglomerationsrate: $<5 \% \pm 1 \%$.

5.4 Morphologische Anforderungen

Partikelmorphologie: kugelförmig oder nahezu kugelförmig, Sphäroidisierungsrate $> 90 \% \pm 2 \%$, Kante $< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$.

Oberflächenqualität: keine sichtbaren Oxide oder Verunreinigungen, Oberflächenrauheit $R_a < 0,2 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$.

5.5 Prozessanforderungen

Mischen: Gleichmäßigkeit $> 98 \% \pm 1 \%$, Nassmahlen (Verhältnis Kugeln zu Material 3:1–8:1 $\pm 0,1$, Rotationsgeschwindigkeit 300–500 U/min ± 10 U/min).

Granulierung: Sprühtrocknung, Partikelgröße $20\text{--}150 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$, Zulaufkonzentration 25–30 % $\pm 1 \%$, Eingangstemperatur $200\text{--}250 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Trocknung: Feuchtigkeit $< 0,2 \% \pm 0,05 \%$, Vakuumtrocknung ($80 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, $< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$).

6 Prüfmethoden

Chemische Zusammensetzung:

Gesamtkohlenstoff, freier Kohlenstoff: Infrarotabsorptionsmethode (GB/T 5124).

Sauerstoff- und Stickstoffgehalt: Pulsheiz-Inertgasfusionsverfahren (GB/T 5124).

Co- und Ni-Gehalt: ICP-AES-Methode (GB/T 5124).

Partikelgröße nach Fisher: Siebanalyseverfahren nach Fisher, Luftdruck $0,1\text{--}0,5 \text{ psi} \pm 0,01 \text{ psi}$, Porosität $0,4\text{--}0,5 \pm 0,02$.

Scheinbare Dichte: ASTM B212, Messzylindermethode, Abweichung $< 2 \% \pm 0,5 \%$.

Klopfichte: ASTM B527, Frequenz $50 \text{ Hz} \pm 1 \text{ Hz}$, Amplitude $1 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, Abweichung $< 2 \% \pm 0,5 \%$.

Fließfähigkeit: ASTM B213, Hall-Rheometer-Methode (Öffnung $5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$), Abweichung $< 1 \text{ Sekunde} \pm 0,2 \text{ Sekunde}$.

Spezifische Oberfläche: BET-Methode (GB/T 19587).

Agglomerationsrate: SEM-Methode (GB/T 16594), Zählen von 500 Partikeln.

Feuchtigkeitsgehalt: Karl-Fischer-Methode (GB/T 6283).

Morphologie: SEM-Methode (GB/T 16594), die Sphäroidisierungsrate wurde mithilfe einer Bildanalysesoftware berechnet.

7 Inspektionsregeln

Inspektionskategorien:

Werksinspektion: chemische Zusammensetzung, Fisher-Partikelgröße, Schüttdichte, Klopfichte, Fließfähigkeit, spezifische Oberfläche, Agglomerationsrate, Feuchtigkeitsgehalt.

Typprüfung: Alle technischen Anforderungen (mindestens einmal jährlich, bzw. bei Prozessänderungen oder Kundenwunsch).

Probenahme:

Gemäß GB/T 1427 entnehmen Sie aus jeder Charge (≤ 1 Tonne) 5 ± 1 Proben mit einem Gewicht von jeweils $100 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ und mischen Sie diese gleichmäßig.

Probenlagerung: versiegelt, Luftfeuchtigkeit $< 50 \% \pm 5 \%$ relative Luftfeuchtigkeit, Temperatur $< 30 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Entscheidungsregeln:

Wenn alle Elemente die Anforderungen erfüllen, ist die Charge qualifiziert. Wenn ein Element die Anforderungen nicht erfüllt, ist eine erneute Prüfung zulässig. Schlägt auch die erneute Prüfung fehl, gilt die Charge als nicht qualifiziert.

Numerische Rundung: gemäß den Regeln von GB/T 8170.

8 Kennzeichnung, Verpackung, Transport und Lagerung

Logo:

Die Außenfläche der Verpackung muss gemäß GB/T 191 mit folgenden Angaben gekennzeichnet sein: Produktname, Code, Chargennummer, Nettogewicht, Produktionsdatum, Hersteller sowie Lager- und Transportmarkierungen.

Beispiel: WC-Co-UF-Q, Chargennummer 20250523, Nettogewicht 50 kg, Produktionsdatum 23.05.2025, ein bestimmtes Hartmetallunternehmen.

Paket:

Innenverpackung: versiegelter Plastikbeutel (Dicke $> 0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$), vakuumiert.

Außenverpackung: Eisenfass oder Kunststofffass (Volumen $50\text{--}100 \text{ l} \pm 1 \text{ l}$), feuchtigkeitsbeständig und stoßfest.

Verpackungsgewicht: $50 \text{ kg} \pm 0,5 \text{ kg}$ pro Fass oder gemäß Kundenwunsch.

Transport:

Vermeiden Sie während des Transports Feuchtigkeit und Stöße sowie hohe Temperaturen ($> 50 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$) und hohe Luftfeuchtigkeit ($> 80 \% \pm 5 \%$ relative Luftfeuchtigkeit).

Erfüllen Sie die Transportanforderungen von GB/T 191 und sorgen Sie für eine klare Kennzeichnung.

Lagerung:

Lagerumgebung: Temperatur $10\text{--}30 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$, Luftfeuchtigkeit $< 50 \% \pm 5 \%$ relative Luftfeuchtigkeit, direkte Sonneneinstrahlung vermeiden.

Lagerdauer: ≤ 12 Monate ± 1 Monat, bei Überschreitung der Haltbarkeitsdauer ist eine erneute Kontrolle erforderlich .

9. Qualitätssicherung

Qualitätsverpflichtung: Der Hersteller sollte ein Qualitätszertifikat vorlegen, das Produktnamen, Code, Chargennummer, Testergebnisse, Produktionsdatum und Unterschrift des Prüfers enthält.

Einwandbehandlung: Wenn Benutzer Einwände gegen die Produktqualität haben, sollten sie diese innerhalb von 30 Tagen nach Erhalt des Produkts vorbringen. Die Angebots- und Nachfrageparteien werden gemeinsam eine erneute Prüfung durchführen und auf Grundlage dieses Standards eine Entscheidung treffen.

Anhang A (Informativer Anhang) Typische Eigenschaften von Hartmetallpulver

WC-Co Ultrafeinpulver (UF):

Fisher-Partikelgröße: $0,5\text{--}1 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,01 \text{ }\mu\text{m}$

Stampfdichte: $5,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$

Fließfähigkeit: 14 Sek./50 g $\pm 0,5$ Sek.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendung: Luftfahrtwerkzeuge, Lebensdauer >15 Stunden \pm 1 Stunde

WC-Ni-Pulver mittlerer Partikelgröße (M):

Fisher-Partikelgröße: $3-5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$

Stampfdichte: $5,8 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$

Fließfähigkeit: 13 Sek./50 g $\pm 0,5$ Sek.

Anwendung: Bergbaubohrer, Lebensdauer >1200 m ± 100 m

Anhang B (Normativer Anhang) Ergänzende Hinweise zu Prüfverfahren

Partikelgrößenbestimmung nach Fisher: Probenverdichtungsdruck $0,5-1 \text{ kg/cm}^2 \pm 0,1 \text{ kg/cm}^2$,
Luftstromabweichung $< 5 \% \pm 0,5 \%$.

Bestimmung der Fließfähigkeit: Die Luftfeuchtigkeit in der Testumgebung beträgt $< 50 \% \pm 5 \%$
relative Luftfeuchtigkeit, um zu verhindern, dass das Pulver Feuchtigkeit aufnimmt und die
Ergebnisse beeinflusst.

Bestimmung der spezifischen Oberfläche: Stickstoffadsorption, Vorbehandlungstemperatur $200 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, Oberflächenfeuchtigkeit entfernen.

Zusammenfassen

Die Norm GB/T 34505-2017 spezifiziert die technischen Bedingungen für die Herstellung von
Hartmetallpulver und umfasst Rohstoffe, Zusammensetzung, physikalische Eigenschaften,
Morphologie, Prozess- und Prüfanforderungen. Durch die Kontrolle von Indikatoren wie der
Fischer-Tropsch-Partikelgröße ($0,5-10 \mu\text{m}$), der Schüttdichte ($5,0-6,2 \text{ g/cm}^3$) und der
Fließfähigkeit (13–16 Sekunden/50 g) wird die Pulverqualität sichergestellt, um die Anforderungen
hochwertiger Anwendungen wie Luftfahrtwerkzeuge (Lebensdauer > 15 Stunden) und
Bergbaubohrer (Lebensdauer > 1200 m) zu erfüllen. Die Norm gewährleistet Produktkonsistenz und
-zuverlässigkeit durch wissenschaftliche Prüfmethoden (ASTM B212, B213, B527) und strenge
Prüfvorschriften (Probenahme, Bestimmung).

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 :

Wie lässt sich die Qualität der Partikelgrößenverteilung von Wolframcarbidpulver bewerten ?

Die Partikelgrößenverteilung von Wolframcarbidpulver (WC) ist ein wichtiger Indikator zur Bewertung seiner Qualität und Leistung und wirkt sich direkt auf die Härte, Zähigkeit, das Sinterverhalten und die Anwendungswirkung von Hartmetall aus.

(1) Bewertungsmethode

Die Partikelgrößenverteilung wird durch Messung der statistischen Eigenschaften der Pulverpartikelgröße beurteilt. Folgende Methoden werden üblicherweise verwendet:

Laser-Partikelgrößenanalyse:

Gemäß GB/T 19077.1-2008 wird die Partikelgrößenverteilung mithilfe der Laserbeugungstechnologie gemessen.

Wichtige Parameter: D10 (10 % der Partikel sind kleiner als dieser Wert), D50 (mittlerer Durchmesser, 50 % der Partikel sind kleiner als dieser Wert), D90 (90 % der Partikel sind kleiner als dieser Wert).

Genauigkeit: Abweichung $<5\% \pm 1\%$, anwendbar auf einen Bereich von $0,1-100\ \mu\text{m} \pm 0,01\ \mu\text{m}$.

Vorteile: schnelle, zerstörungsfreie und hoch reproduzierbare Ergebnisse.

Rasterelektronenmikroskop (REM):

Gemäß GB/T 16594-2008 wurden die Partikelmorphologie und Größenverteilung beobachtet.

Messung: Zählen Sie die Größe von 100-500 Partikeln manuell oder mithilfe einer

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bildanalysesoftware.

Vorteile: Spiegelt intuitiv die Partikelmorphologie (polygonal, sphärisch) und Agglomeration ($<5\% \pm 1\%$) wider.

Nachteile: Die Repräsentativität der Stichprobe ist eingeschränkt und muss mit anderen Methoden kombiniert werden.

Sedimentationsmethode:

Gemäß GB/T 14634.2-2010 wird die Partikelgrößenverteilung anhand der Sedimentationsgeschwindigkeit der Partikel in der Flüssigkeit berechnet.

Anwendungsbereich: Grobe Partikel ($> 5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$).

Vorteile: geeignet für nicht-sphärische Partikel, geringe Kosten.

Unzureichende Genauigkeit für feines Pulver ($<1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$).

Methode der spezifischen Oberfläche (BET):

Gemäß GB/T 19587-2017 wurde die durchschnittliche Partikelgröße durch Stickstoffadsorption berechnet.

Anwendungsbereich: Submikronbereich ($0,1-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), spezifische Oberfläche $> 1 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,2 \text{ m}^2/\text{g}$.

Vorteile: spiegelt die Oberflächeneigenschaften von Partikeln wider und bewertet indirekt die Verteilung.

Online-Überwachung:

Verwenden Sie einen Online-Laser-Partikelgrößenanalysator, um die Partikelgrößenverteilung während des Misch- oder Vorbereitungsprozesses in Echtzeit zu überwachen.

Vorteile: Dynamische Prozessanpassung, Abweichung $<3\% \pm 0,5\%$.

(2) Bewertungskriterien

Die Qualität der Partikelgrößenverteilung wird quantitativ anhand folgender Parameter bewertet:

Verteilungsbreite:

Idealwert: $(D90 - D10)/D50 < 1,5 \pm 0,1$, was auf eine enge Verteilung und gleichmäßige Partikel hinweist.

Schlechter Qualitätswert: $>2,0 \pm 0,2$, breite Verteilung, ungleichmäßige Partikel.

Bedeutung: Eine enge Verteilung ($<1,5 \pm 0,1$) verringert die Sinterporosität ($<0,05\% \pm 0,01\%$) und verbessert die Dichte ($>99\% \pm 0,1\%$).

Mittlerer Durchmesser (D50):

nach Anwendung Submikronbereich $0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Mikronbereich $1-3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Grobbereich $5-10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$.

Abweichung: $\pm 10\% \pm 1\%$, das Überschreiten dieses Grenzwerts beeinträchtigt die Leistungskonsistenz.

Gleichmäßigkeit:

Standard: Standardabweichung/Durchschnittswert der Partikelgröße $<0,2 \pm 0,02$, Gleichmäßigkeit $>95\% \pm 1\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bedeutung: Hohe Gleichmäßigkeit ($>95\% \pm 1\%$) verbessert Härte und Zähigkeit ($HV > 3000 \pm 50$, $K_{1c} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$).

Morphologische Konsistenz:

Standard: Sphäroidisierungsrate $> 90\% \pm 2\%$ oder polygonale Kante $< 0,05 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Agglomerationsrate $< 5\% \pm 1\%$.

Bedeutung: Eine gleichmäßige Morphologie verringert Pressfehler (Risse $< 1\% \pm 0,2\%$) und verbessert die Fließfähigkeit ($< 30 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 2 \text{ s}$, GB/T 1482-2010).

(3) Beurteilung der Qualität

Hervorragende Partikelgrößenverteilung:

Eigenschaften: $(D_{90} - D_{10})/D_{50} < 1,5 \pm 0,1$, D50-Abweichung $< 10\% \pm 1\%$, Gleichmäßigkeit $> 95\% \pm 1\%$, Agglomerationsrate $< 5\% \pm 1\%$.

Leistung: Dichte nach dem Sintern $> 99\% \pm 0,1\%$, Härte $HV > 2900 \pm 50$, Biegefestigkeit $> 4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, Verschleißmenge $< 0,08 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$.

Anwendungen: Luftfahrtwerkzeuge (Lebensdauer > 15 Stunden ± 1 Stunde), PCB-Bohrer (Lebensdauer $> 10^5$ Löcher $\pm 10^4$ Löcher).

Typische Partikelgrößenverteilung:

Eigenschaften: $(D_{90} - D_{10})/D_{50} 1,5 - 2,0 \pm 0,2$, D50-Abweichung $10 - 20\% \pm 1\%$, Gleichmäßigkeit $90 - 95\% \pm 1\%$, Agglomerationsrate $5 - 10\% \pm 1\%$.

Leistung: Dichte $98\% - 99\% \pm 0,1\%$, Härte $HV 2500 - 2800 \pm 50$, Biegefestigkeit $3500 - 4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, Verschleißverlust $0,08 - 0,15 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$.

Anwendung: Allzweckformen (Lebensdauer $> 10^6$ -fach $\pm 10^5$ -fach).

Schlechte Qualität der Partikelgrößenverteilung:

Eigenschaften: $(D_{90} - D_{10})/D_{50} > 2,0 \pm 0,2$, D50-Abweichung $> 20\% \pm 1\%$, Gleichmäßigkeit $< 90\% \pm 1\%$, Agglomerationsrate $> 10\% \pm 1\%$.

Leistung: Dichte $< 98\% \pm 0,1\%$, Porosität $> 0,2\% \pm 0,02\%$, Härte $HV < 2500 \pm 50$, Biegefestigkeit $< 3500 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, Verschleißmenge $> 0,15 \text{ mm} \pm 0,03 \text{ mm}$.

Anwendung: Eingeschränkt, anfällig für Werkzeugausfälle (Lebensdauer < 10 Stunden ± 1 Stunde).

Beispiele:

Ausgezeichnet: $D_{50} = 0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, $(D_{90} - D_{10})/D_{50} = 1,2 \pm 0,1$, Hartmetall wird für Luftfahrtwerkzeuge verwendet, Lebensdauer > 15 Stunden ± 1 Stunde.

Schlechte Qualität: $D_{50} = 2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, $(D_{90} - D_{10})/D_{50} = 2,5 \pm 0,2$, Hartmetall-Porosität $> 0,3\% \pm 0,02\%$, Lebensdauer < 8 Stunden ± 1 Stunde.

(4) Optimierungsvorschläge

Rohstoffkontrolle:

Um die anfängliche Partikelgrößenabweichung zu verringern, wurden hochreines Wolframpulver ($O < 0,05\% \pm 0,01\%$) und Ruß (Partikelgröße $< 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) ausgewählt.

Vorbereitungsprozess:

Die Karbonisierungstemperatur beträgt $1450 - 1600 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ und die Reaktionszeit wird kontrolliert ($2 - 4$ Stunden $\pm 0,1$ Stunde), um eine gleichmäßige Karbonisierung sicherzustellen.

Schnelles Abkühlen ($> 50^\circ\text{C}/\text{min} \pm 5^\circ\text{C}/\text{min}$) hemmt das Kornwachstum ($< 0,01 \mu\text{m}/\text{min} \pm 0,001 \mu\text{m}$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

/min).

Zusatzstoff:

0,1 % – 0,5 % \pm 0,01 % VC oder Cr₃C₂ hemmt das Kornwachstum und die Partikelgrößenabweichung beträgt $<5\% \pm 1\%$.

Nachbearbeitung:

Die Luftstromklassifizierung (GB/T 19077.1-2008) passt die Verteilung mit einer Abweichung von $<2\% \pm 0,5\%$ an.

Sieb (Porengröße $<10\ \mu\text{m} \pm 0,1\ \mu\text{m}$) zum Entfernen von Agglomeraten ($<5\% \pm 1\%$).

Prozessüberwachung:

Die Online-Laserpartikelgrößenanalyse passt die Parameter in Echtzeit an, um die D50-Abweichung $<5\% \pm 0,5\%$ zu halten.

(5) Prüfung und Qualitätskontrolle

Partikelgrößenverteilung: Die Laserpartikelgrößenanalyse wird regelmäßig (alle 100 Mal \pm 10 Mal) kalibriert, um eine D50-Genauigkeit von $\pm 5\% \pm 0,5\%$ zu gewährleisten.

Morphologische Analyse: Einmal im Monat wurde eine SEM durchgeführt, um die Aggregationsrate ($<5\% \pm 1\%$) und die morphologische Konsistenz zu bewerten.

Leistungsüberprüfung: Nach dem Sintern werden Härte (ISO 4499-2), Festigkeit (GB/T 3851-2015) und Verschleißfestigkeit (GB/T 12444-2006) geprüft und mit Verteilungsdaten korreliert.

Statistische Analyse: Es wurde ein Normalverteilungsmodell verwendet und die Standardabweichung/der Mittelwert wurde mit $<0,2 \pm 0,02$ berechnet, um die Homogenität zu bestätigen.

Die Partikelgrößenverteilung von Wolframcarbidpulver wird mittels Laserpartikelgrößenanalyse (D10, D50, D90), SEM, Sedimentationsmethode und BET-Methode bewertet. Die Bewertungskriterien umfassen Verteilungsbreite ($<1,5 \pm 0,1$), D50-Abweichung ($<10\% \pm 1\%$), Gleichmäßigkeit ($>95\% \pm 1\%$) und Morphologiekonsistenz. Eine hervorragende Verteilung ((D90-D10)/D50 $<1,5 \pm 0,1$) gewährleistet eine hohe Dichte ($>99\% \pm 0,1\%$) und Leistung (HV $>2900 \pm 50$) und eignet sich somit für anspruchsvolle Anwendungen. Eine schlechte Verteilung ($>2,0 \pm 0,2$) führt zu Leistungseinbußen. Optimieren Sie Rohstoffe, Prozesse und Nachbearbeitung und verbessern Sie die Verteilungsqualität durch Echtzeitüberwachung, um den Anforderungen von Luftfahrtwerkzeugen (Lebensdauer >15 Stunden \pm 1 Stunde) und Bergbaubohrern (Lebensdauer $>1200\ \text{m} \pm 100\ \text{m}$) gerecht zu werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang :

Was ist die Fisher-Partikelgröße?

Der Fisher Sub-Sieve Sizer (FSSS) ist ein traditionelles Verfahren zur Partikelgrößenanalyse, das die durchschnittliche Größe von Pulverpartikeln mittels Luftpermeation bestimmt. Es wird häufig zur Charakterisierung von Hartmetall-Rohstoffen (wie Wolframcarbidpulver WC, Kobaltpulver Co und Nickelpulver Ni) und anderen Metallpulvern eingesetzt.

(1) Begriffsbestimmung

Der Fisher-Partikelgrößenanalysator basiert auf dem Fisher Sub-Sieve Sizer. Er misst den Luftdurchlässigkeitswiderstand der Pulverschicht und schätzt indirekt die durchschnittliche Partikelgröße der Pulverpartikel. Das Ergebnis wird üblicherweise in Mikrometern (μm) angegeben und spiegelt die Oberfläche und die Poreneigenschaften des Pulvers wider. Es eignet sich besonders für die Analyse der Partikelgrößenverteilung feiner Partikel.

(2) Messprinzip

Die Messung der Fisher-Partikelgröße basiert auf der Carman-Kozeny-Gleichung, die den Zusammenhang zwischen der Permeabilität einer Flüssigkeit in einem porösen Medium und der Partikelgröße, Porosität und Dicke des Mediums beschreibt. Der Messvorgang läuft wie folgt ab:

Probenvorbereitung

Eine bestimmte Pulvermasse (normalerweise $2-5 \text{ g} \pm 0,1 \text{ g}$) wird in ein spezielles Reagenzglas gegeben und vorsichtig verdichtet, um eine gleichmäßige Pulverschicht (Dicke $1-2 \text{ cm} \pm 0,1 \text{ cm}$) mit einer kontrollierten Porosität von $0,4-0,5 \pm 0,02$ zu bilden.

Luftinfiltration

Leiten Sie trockene Luft mit konstantem Druck ($0,1-0,5 \text{ psi} \pm 0,01 \text{ psi}$) durch das Reagenzglas und messen Sie die Durchflussrate der Luft durch die Pulverschicht (Volumen pro Zeiteinheit, ml/s).

Widerstandsberechnung

Der Widerstand der Pulverschicht gegenüber der Luft ist proportional zur Partikeloberfläche. Je größer der Widerstand, desto kleiner die Partikel. Die Luftdurchflussrate ist proportional zum Quadrat des durchschnittlichen Partikeldurchmessers.

Partikelgrößenschätzung

basierend auf der Karman-Cohen-Gleichung und der Kalibrierungskurve, wobei die Oberfläche und Porosität der Pulver kombiniert werden.

Der mathematische Ausdruck vereinfacht sich zu:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

数学表达式简化为:

$$D = k \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot \eta \cdot L}{P \cdot A \cdot (1 - \epsilon)^2}}$$

其中:

- D : 费氏粒度 (μm)
- k : 仪器校准常数
- Q : 空气流量 (mL/s)
- η : 空气粘度 ($\text{Pa}\cdot\text{s}$)
- L : 粉末层厚度 (cm)
- P : 压力差 (Pa)
- A : 粉末层横截面积 (cm^2)
- ϵ : 孔隙率

(3) Geltungsbereich

Partikelgrößenbereich: $0,1\text{--}50 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, besonders geeignet für Pulver im Submikron- und Mikronbereich (z. B. $0,3\text{--}10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ für WC- Pulver).

Pulvereigenschaften: Geeignet für kugelförmige oder nahezu kugelförmige Partikel mit hoher Konsistenz in der Partikelmorphologie (Sphäroidisierungsrate $> 90 \% \pm 2 \%$).

Aufgrund der eingeschränkten Luftdurchlässigkeit nicht geeignet für Pulver mit Partikelgrößen $> 50 \mu\text{m}$ oder starker Agglomeration ($> 10 \% \pm 1 \%$).

(4) Vorteile und Nachteile

Vorteil:

Einfach und schnell: Messzeit $< 5 \text{ Minuten} \pm 0,5 \text{ Minuten}$, leicht zu bedienen, geeignet für Batch-Tests.

Oberflächenbezogen: Gibt die spezifische Oberfläche des Pulvers wieder ($> 1 \text{ m}^2/\text{g} \pm 0,2 \text{ m}^2/\text{g}$), die in engem Zusammenhang mit dem Sinterverhalten steht.

Niedrige Kosten: Die Ausrüstung ist günstig ($< 5000 \text{ USD} \pm 500 \text{ USD}$) und leicht zu warten.

Mangel:

Einzelner Indikator: Gibt nur die durchschnittliche Partikelgröße an, ohne Informationen zur Partikelgrößenverteilung (wie etwa D_{10} , D_{90}).

Kalibrierungsabhängig: Die Ergebnisse werden durch die Kalibrierungskurve und den Grad der Pulververdichtung beeinflusst und können um bis zu $\pm 10 \% \pm 1 \%$ variieren.

Morphologische Einschränkung: Der Messfehler nicht-sphärischer oder poröser Partikel (wie etwa agglomeriertes Pulver) ist groß ($> 15 \% \pm 2 \%$).

(5) Berechnungsmethode und Kalibrierung

Kalibrierung: Verwenden Sie Standardpulver (wie SiC oder Al_2O_3 mit bekannter Partikelgröße, $0,5\text{--}10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$), um das Instrument zu kalibrieren und eine Messgenauigkeit von $\pm 5 \% \pm 0,5 \%$ zu gewährleisten.

Wiederholbarkeit: Jede Charge wurde 3-5 Mal getestet und der Durchschnittswert ermittelt. Die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Standardabweichung betrug $<0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$.

Korrekturfaktor: Passen Sie die Karman-Cohen-Konstante entsprechend der Pulverdichte (WC $15,63 \text{ g/cm}^3 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$) an.

(6) Einflussfaktoren

Pulververdichtung: Verdichtungsdruck $0,5\text{--}1 \text{ kg/cm}^2 \pm 0,1 \text{ kg/cm}^2$. Bei zu hohem Verdichtungsdruck ($> 2 \text{ kg/cm}^2$) verringert sich die Porosität ($< 0,3 \pm 0,02$) und das Ergebnis ist kleiner. Bei zu niedrigem Verdichtungsdruck ($< 0,2 \text{ kg/cm}^2$) erhöht sich die Porosität ($> 0,6 \pm 0,02$) und das Ergebnis ist größer.

Luftfeuchtigkeit: Ein Feuchtigkeitsgehalt der Probe von $>0,5 \% \pm 0,1 \%$ beeinträchtigt den Luftstrom und muss getrocknet werden ($<0,1 \% \pm 0,01 \%$).

Partikelmorphologie: Nicht-sphärische Partikel (Kanten $> 0,1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) führen zu Oberflächenschätzfehlern von $> 10 \% \pm 1 \%$.

Atmosphäre: Der Test sollte in trockener Luft durchgeführt werden, um Störungen durch CO_2 oder O_2 ($\text{O}_2 < 5 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$) zu vermeiden.

(7) Anwendungseffekt

Hartmetallaufbereitung:

WC-Pulver mit einer Partikelgröße von $0,5\text{--}2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ hat nach dem Sintern eine Dichte von $> 99 \% \pm 0,1 \%$ und eine Härte von $\text{HV} > 2900 \pm 50$, was für Luftfahrtwerkzeuge geeignet ist (Lebensdauer > 15 Stunden ± 1 Stunde).

WC-Co-Pulver mit einer Fischer-Tropsch-Partikelgröße von $3\text{--}5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ und einer Biegefestigkeit von $> 4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$ eignet sich für Bergbaubohrkronen (Lebensdauer $> 1200 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$).

Qualitätskontrolle:

Die Fisher-Partikelgrößenabweichung von Charge zu Charge beträgt $<10 \% \pm 1 \%$, wodurch eine gleichbleibende Sinterung gewährleistet wird (Porosität $<0,05 \% \pm 0,01 \%$).

Im Vergleich zur Laserpartikelgrößenanalyse (D50) wurde die Verteilungsbreite verifiziert ($(\text{D90}-\text{D10})/\text{D50} < 1,5 \pm 0,1$).

(8) Prüfung und Qualitätskontrolle

Kalibrierung des Instruments: Kalibrieren Sie monatlich mit Standardpulver und zeichnen Sie die Abweichung der Kalibrierungskurve $<5 \% \pm 0,5 \%$ auf.

Testbedingungen: Umgebungstemperatur $20\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit $< 40 \% \text{ RH} \pm 5 \%$, sicherstellen, dass die Luft trocken ist.

Ergebnisüberprüfung: Im Vergleich zur BET-Methode zur Bestimmung der spezifischen Oberfläche (GB/T 19587-2017) beträgt die Oberflächenabweichung $<10 \% \pm 1 \%$.

Aufzeichnungen: Notieren Sie den Fisher-Partikelgrößenwert, den Verdichtungsdruck und den Luftstrom für jede Charge und bewahren Sie diese 1 Jahr $\pm 0,1$ Jahr lang auf.

Zusammenfassen

Die Fisher-Partikelgrößenbestimmung ist eine traditionelle Methode zur Partikelgrößenmessung auf

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Basis der Luftdurchlässigkeit. Dabei wird die durchschnittliche Pulverpartikelgröße ($0,1 - 50 \mu\text{m}$) mithilfe der Karman-Cohen - Gleichung geschätzt . Sie eignet sich besonders zur Analyse der Oberfläche und der Poreneigenschaften von Hartmetall-Rohmaterialien. Die Messung ist einfach, schnell (< 5 Minuten) und kostengünstig, liefert jedoch nur einen Durchschnittswert und beruht auf Kalibrierung und Partikelmorphologie. Durch Optimierung des Verdichtungsdrucks ($0,5 - 1 \text{ kg/cm}^2$) und der Feuchtigkeitskontrolle ($< 0,1 \%$) kann die Genauigkeit verbessert werden ($\pm 5 \%$). Bei der Hartmetallherstellung dient die Fisher-Partikelgröße als Richtwert für die Pulververfeinerung ($0,5 - 5 \mu\text{m}$), um die Sinterleistung (Dichte $> 99 \%$, Härte $> 2900 \text{ HV}$) sicherzustellen. Sie wird häufig bei der Herstellung von Flugzeugwerkzeugen und Bergbaubohrern eingesetzt.

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

Kugelarten für Kugelmöhlen zur Pulvervorbereitung

Bei der Vorbereitung von Hartmetallpulvern wie Wolframcarbidpulver (WC) ist das Kugelmahlen ein Schlüsselprozess zur Pulvermischung, -verfeinerung und gleichmäßigen Verteilung. Die Art der verwendeten Kugel beim Kugelmahlen beeinflusst direkt die Mahlleistung, die Pulverreinheit und die Endleistung.

(1) Häufig verwendete Kugeltypen für Kugelmahlwerke

Kugel aus Kohlenstoffstahl:

Material: Kohlenstoffarmer Stahl oder Stahl mit mittlerem Kohlenstoffgehalt (z. B. 45#-Stahl, 60Mn-Stahl), die Oberfläche kann verchromt werden.

Merkmal:

Dichte: $7,8-7,9 \text{ g/cm}^3 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$.

Härte: HRC 50-60±2.

Verschleißfestigkeit: Verschleißrate $<0,1 \% \pm 0,02 \%/\text{h}$.

Kosten: niedrig, für Massenproduktion geeignet.

Vorteile: günstig, starke Schlagkraft, geeignet zum Grobmahlen (Partikelgröße $>5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$).

Nachteile: Es kommt leicht zu Fe-Verunreinigungen ($>0,02 \% \pm 0,005 \%$), die die Reinheit des WC-Pulvers ($<99,9 \% \pm 0,01 \%$) beeinträchtigen und ein anschließendes Beizen erforderlich machen.

Anwendung: Primäres Mischen und Grobzerkleinern von WC-Co-Pulvern.

Edelstahlkugel:

Material: Austenitischer Edelstahl wie 304, 316L usw.

Merkmal:

Dichte: $7,9-8,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$.

Härte: HRC 25-35±2.

Korrosionsbeständigkeit: Besser als Kohlenstoffstahl, Korrosionsrate $<0,01 \text{ mm/Jahr} \pm 0,002 \text{ mm/Jahr}$ (pH 2-12).

Verschleißfestigkeit: Verschleißrate $<0,05 \% \pm 0,01 \%/\text{h}$.

Vorteile: Korrosionsbeständigkeit, geringe Fe-Verunreinigung ($<0,01 \% \pm 0,002 \%$), geeignet zum Feinmahlen.

Nachteile: geringere Härte und geringere Schleifleistung als Hartmetallkugeln.

Anwendung: Feinmahlen von WC-Pulver im Submikronbereich ($0,1-1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$).

Hartmetallkugel:

Material: WC-Co-Legierung (Co-Gehalt $6 \% - 12 \% \pm 0,5 \%$).

Merkmal:

Dichte: $14,5-15,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$.

Härte: HRC 65-75±2.

Verschleißfestigkeit: Verschleißrate $<0,01 \% \pm 0,002 \%/\text{h}$.

Korrosionsbeständigkeit: Besser als Kohlenstoffstahl, Korrosionsrate $<0,005 \text{ mm/Jahr} \pm 0,001$

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mm/Jahr.

Vorteile: Hohe Härte, Verschleißfestigkeit, geringere Verschmutzung (WC-Phasenkonsistenz > 99,8 % ± 0,02 %), geeignet für hohe Reinheitsanforderungen.

Nachteile: Hohe Kosten (etwa 10-20-mal so hoch wie bei Kohlenstoffstahl).

Anwendung: Herstellung von ultrafeinem WC-Pulver (<0,5 µm ± 0,01 µm) und hochpräzisem Hartmetall.

Zirkonia-Kugel (ZrO₂) :

Material: Stabilisiertes Zirkoniumoxid (Y₂O₃ stabilisiert, 3 %–5 % ± 0,1 %).

Merkmal:

Dichte: 6,0-6,1 g/cm³ ± 0,05 g/cm³.

Härte: HRC 70-80±2.

Verschleißfestigkeit: Verschleißrate <0,02 % ± 0,005 %/h.

Korrosionsbeständigkeit: Hervorragend, hohe chemische Stabilität (pH 0–14).

Vorteile: Keine Metallverschmutzung, geeignet für hochreines WC-Pulver (O <0,05 % ± 0,01 %), glatte Oberfläche (Ra <0,2 µm ± 0,02 µm).

Nachteile: geringe Dichte, geringere Schleifleistung als Hartmetallkugeln.

Anwendung: Nanoskaliges WC-Pulver (<0,1 µm ± 0,01 µm) und biomedizinische Materialien.

Aluminiumoxidkugeln (Al₂O₃) :

Material: hochreines Aluminiumoxid (Al₂O₃ - Gehalt > 99 % ± 0,01 %).

Merkmal:

Dichte: 3,6-3,9 g/cm³ ± 0,05 g/cm³.

Härte: HRC 80-90±2.

Verschleißfestigkeit: Verschleißrate <0,03 % ± 0,005 %/h.

Korrosionsbeständigkeit: Gut, säure- und laugenbeständig (pH 2-12).

Vorteile: hohe Härte, moderate Kosten, keine Metallverschmutzung.

Nachteile: spröde und leicht zu brechen (Bruchrate <1 % ± 0,2 %).

Anwendung: Mahlen von mittelgrobem WC-Pulver (1-5 µm ± 0,01 µm) und keramischen Werkstoffen.

Siliziumnitridkugel (Si₃N₄) :

Material: Siliziumnitrid, stabilisiert mit Y₂O₃ oder Al₂O₃.

Merkmal:

Dichte: 3,2-3,3 g/cm³ ± 0,05 g/cm³.

Härte: HRC 85-95±2.

Verschleißfestigkeit: Verschleißrate <0,01 % ± 0,002 %/h.

Korrosionsbeständigkeit: Hervorragend, beständig gegen starke Säuren und Laugen.

Vorteile: Hohe Härte, geringe Dichte, geeignet zum Hochgeschwindigkeitsschleifen.

Nachteile: Hohe Kosten und aufwendige Herstellung.

Anwendung: Hochreines Nano-WC-Pulver und hochwertige elektronische Materialien.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(2) Auswahlgrundlage

Härte und Verschleißfestigkeit:

Materialien mit hoher Härte (wie Hartmetallkugeln, ZrO_2 , Si_3N_4) eignen sich zum Feinmahlen und für ultrafeine Pulver ($<0,5 \mu m \pm 0,01 \mu m$), mit einer Verschleißrate von $< 0,01 \% \pm 0,002 \% / h$.

Materialien mit geringer Härte (wie etwa Kugeln aus Kohlenstoffstahl) eignen sich zum Grobmahlen und weisen eine hohe Effizienz, aber eine geringe Verschleißfestigkeit auf.

Umweltschutz:

Keine Metallverunreinigung erforderlich ($O < 0,05 \% \pm 0,01 \%$, $Fe < 0,01 \% \pm 0,002 \%$), wählen Sie ZrO_2 , Al_2O_3 oder Si_3N_4 .

Leichte Verunreinigungen sind zulässig ($Fe < 0,02 \% \pm 0,005 \%$) und es können Kugeln aus Kohlenstoffstahl oder Edelstahl ausgewählt werden.

Dichte und Mahlleistung:

Kugeln mit hoher Dichte (z. B. Hartmetallkugeln, $14,5-15,0 g/cm^3 \pm 0,05 g/cm^3$) sorgen für eine starke Schlagkraft und eignen sich zum Schleifen harter Materialien.

Kugeln mit geringer Dichte (wie etwa Al_2O_3 , $3,6-3,9 g/cm^3 \pm 0,05 g/cm^3$) eignen sich zum leichten Mahlen und verringern das Überzerkleinern.

Kosten und Größe:

Für die Massenproduktion zu geringen Kosten ($< 10 USD/kg \pm 1 USD/kg$) werden Kugeln aus Kohlenstoffstahl oder Edelstahl verwendet.

Wählen Sie für High-End-Anwendungen Hartmetallkugeln oder ZrO_2 ($50-200 USD/kg \pm 10 USD/kg$).

Kugeldurchmesser passend:

Grobschliff: $10-20 mm \pm 0,1 mm$ (z. B. Kugel aus Kohlenstoffstahl).

Feinschliff: $2-10 mm \pm 0,1 mm$ (z. B. Hartmetallkugeln, ZrO_2).

Ultrafeinschliff: $0,5-2 mm \pm 0,1 mm$ (z. B. Si_3N_4).

(3) Anwendungsbeispiele

Kohlenstoffstahlkugel: Wird zum groben Mischen von WC-Co verwendet (Partikelgröße $5-10 \mu m \pm 0,01 \mu m$), Mahlleistung $> 90 \% \pm 2 \%$, aber Fe-Verunreinigungen müssen durch Beizen entfernt werden ($< 0,01 \% \pm 0,002 \%$).

Hartmetallkugeln: werden zum WC-Ultrafeinschleifen ($0,3 \mu m \pm 0,01 \mu m$) verwendet, Härte $HV > 2900 \pm 50$, Verunreinigung $< 0,005 \% \pm 0,001 \%$, geeignet für Luftfahrtwerkzeuge (Lebensdauer > 15 Stunden ± 1 Stunde).

ZrO_2 - Kugeln: verwendet für Nano-WC-Pulver ($0,1 \mu m \pm 0,01 \mu m$), O-Verunreinigung $< 0,03 \% \pm 0,005 \%$, verwendet für PCB-Bohrer (Lebensdauer $> 10^5$ Löcher $\pm 10^4$ Löcher).

Si_3N_4 -Kugel: Wird für hochreines WC- Nanopulver verwendet, Härte $HV > 3000 \pm 50$, ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit, geeignet für chemische Geräte (Lebensdauer > 2 Jahre $\pm 0,2$ Jahre).

(4) Optimierung und Wartung

Kugel-Material-Verhältnis: 5:1 bis 10:1 $\pm 0,1$ wird empfohlen. Ein zu hoher Wert führt zu Überzerkleinerung (Partikelgrößenabweichung $> 10 \% \pm 1 \%$), ein zu niedriger Wert verringert die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Effizienz.

Rotationsgeschwindigkeit: 200–400 U/min \pm 10 U/min. Eine zu hohe Geschwindigkeit ($>$ 500 U/min \pm 10 U/min) erhöht den Verschleiß ($>$ 0,1 % \pm 0,02 %/h).

Reinigung: Nach jedem Mahlen mit Ethanol oder verdünnter HCl (pH 2 \pm 0,1) reinigen, um eine Kreuzkontamination zu vermeiden (Fe $<$ 0,005 % \pm 0,001 %).

alle 500 Stunden \pm 50 Stunden ausgetauscht, ZrO₂ alle 1000 Stunden \pm 100 Stunden, basierend auf der Überwachung der Verschleißrate .

Zu den Kugeltypen für Kugelmöhlen gehören Kohlenstoffstahlkugeln (kostengünstig, grobe Mahlung), Edelstahlkugeln (korrosionsbeständig, feine Mahlung), Hartmetallkugeln (hohe Härte, ultrafeine Mahlung), Zirkonoxidkugeln (umweltfreundlich, Nanometerqualität), Aluminiumoxidkugeln (mittelgrobe Mahlung) und Siliziumnitridkugeln (hohe Reinheit und Korrosionsbeständigkeit). Die Auswahl richtet sich nach Härte, Verschleißfestigkeit, Schadstofffreiheit, Dichte und Kosten, dem passenden Kugeldurchmesser (0,5–20 mm \pm 0,1 mm) und den Anwendungsanforderungen. Hartmetallkugeln und ZrO₂-Kugeln eignen sich für hochpräzises WC-Pulver ($<$ 0,5 μ m \pm 0,01 μ m), Kohlenstoffstahlkugeln für die Grobbearbeitung. Durch Optimierung des Kugel-Material-Verhältnisses (5:1–10:1 \pm 0,1) und der Rotationsgeschwindigkeit (200–400 U/min \pm 10 U/min) sowie regelmäßige Wartung (Reinigung, Austausch) können die Mahlleistung und die Pulverqualität verbessert werden, um die Leistungsanforderungen von Luftfahrtwerkzeugen (Lebensdauer $>$ 15 Stunden \pm 1 Stunde) und Bergbaubohrern (Lebensdauer $>$ 1200 m \pm 100 m) zu erfüllen.

Nichtmetallische Bindemittel in der Pulvervorbehandlung

Bei der Herstellung von Hartmetall ist die Pulvervorbehandlung ein wichtiger Schritt zur Verbesserung der Fließfähigkeit und Pressbarkeit des Pulvers. Nichtmetallische Bindemittel (auch organische Bindemittel genannt) spielen dabei eine wichtige Rolle: Sie unterstützen die Partikelbindung, erhöhen die Festigkeit des Grünkörpers und gewährleisten die Stabilität vor dem anschließenden Sintern. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse nichtmetallischer Bindemittel hinsichtlich Typ, Eigenschaften, Wirkungsmechanismus, Anwendungsauswirkungen und Optimierungsstrategie.

(1) Arten und Eigenschaften nichtmetallischer Bindemittel

Nichtmetallische Bindemittel sind in der Regel organische Verbindungen, die eine gute Haftung, eine niedrige Zersetzungstemperatur und eine leichte Entfernbarkeit aufweisen müssen, um die Leistung des Hartmetalls nicht zu beeinträchtigen. Zu den gängigen Typen gehören:

Polyvinylalkohol (PVA)

Chemische Struktur: $[-CH_2-CH(OH)-]_n$, wasserlösliches Polymer.

Eigenschaften: Hohe Bindungsfestigkeit ($>5 \text{ MPa} \pm 0,5 \text{ MPa}$), Zersetzungstemperatur $250\text{--}350 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, Restkohlenstoff $<0,1 \text{ \%} \pm 0,01 \text{ \%}$.

Vorteile: Wasserlöslich, leicht zu mischen, geringe Kosten.

Nachteile: Stark hygroskopisch (Feuchtaufnahmerate $>2 \text{ \%} \pm 0,2 \text{ \%}$), Luftfeuchtigkeit muss kontrolliert werden ($<50 \text{ \%}$ relative Luftfeuchtigkeit $\pm 5 \text{ \%}$).

Polyethylenglykol (PEG)

Chemische Struktur: $HO-(CH_2CH_2O)_n-H$, verschiedene Molekulargewichte (200-6000) erhältlich.

Eigenschaften: Zersetzungstemperatur $300\text{--}400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, gute Schmierfähigkeit (Reibungskoeffizient $<0,2 \pm 0,02$), Restkohlenstoff $<0,05 \text{ \%} \pm 0,01 \text{ \%}$.

Vorteile: gute Fließfähigkeit ($<20 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 2 \text{ s}$), geeignet für feines Pulver ($<0,5 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$).

Nachteile: Hohe Viskosität bei niedrigen Temperaturen ($>10 \text{ Pa} \cdot \text{s} \pm 1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$), erfordert Erhitzen zum Mischen ($60^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$).

Paraffinwachs

Chemische Struktur: $C_n H_{2n+2}$ ($n=20\text{--}40$), Kohlenwasserstoffverbindung.

Eigenschaften: Schmelzpunkt $50\text{--}70 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, Zersetzungstemperatur $200\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, Restkohlenstoff $<0,2 \text{ \%} \pm 0,01 \text{ \%}$.

Vorteile: starke Schmierfähigkeit (Reibungskoeffizient $<0,15 \pm 0,02$), leicht zu entfernen.

Nachteile: Bei hohen Temperaturen ($>80^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) flüchtig, muss bei niedriger Temperatur gelagert werden.

Stearinsäure

Chemische Formel: $C_{17}H_{35}COOH$, Fettsäure.

Eigenschaften: Schmelzpunkt $69 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, Zersetzungstemperatur $250\text{--}350 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Restkohlenstoff < 0,1 % ± 0,01 %.

Vorteile: Es verfügt sowohl über Schmier- als auch über Bindeeigenschaften und eignet sich für die Hochdruckumformung (>500 MPa ± 10 MPa).

Nachteile: Zersetzt sich bei hohen Temperaturen leicht, die Verarbeitungstemperatur muss kontrolliert werden (<100 °C ± 2 °C).

Andere Bindemittel

Polymethylmethacrylat (PMMA): Zersetzungstemperatur 300–400 °C ± 5 °C, geeignet für hochpräzises Formen.

Ethylcellulose (EC): löslich in Ethanol, Zersetzungstemperatur 250–350 °C ± 5 °C, geeignet für Sprühgranulation.

(2) Wirkungsmechanismus

Nichtmetallische Bindemittel verbessern die Pulvereigenschaften durch physikalische und chemische Effekte bei der Pulvervorbehandlung:

Partikelbindung:

Während des Mischvorgangs (Rotationsgeschwindigkeit 300 U/min ± 10 U/min) umhüllte das Bindemittel die WC- und Co/Ni-Partikel und bildete einen Film (Dicke < 0,1 µm ± 0,01 µm), wodurch die Bindungskraft zwischen den Partikeln erhöht wurde (> 3 MPa ± 0,5 MPa).

Beispielsweise bindet eine PVA-Lösung (Konzentration 5 % ± 0,1 %) Partikel über Wasserstoffbrücken (Bindungsenergie ~ 20 kJ/mol ± 2 kJ/mol).

Verbesserte Mobilität:

Paraffin und PEG verringern die Reibung zwischen den Partikeln (Reibungskoeffizient < 0,2 ± 0,02) und die Fließfähigkeit des Pulvers wird auf < 20 s/50 g ± 2 s verbessert (GB/T 1482-2010).

Geeignet für feine Partikel (< 0,5 µm ± 0,01 µm) und zur Reduzierung der Agglomeration (< 5 % ± 1 %).

Verbessern Sie die Festigkeit des Rohlings:

Nach dem Pressen (Druck 200–500 MPa ± 10 MPa) bildet das Bindemittel eine Netzwerkstruktur (Porosität < 10 % ± 1 %) und die Festigkeit des Grünkörpers beträgt > 10 MPa ± 1 MPa, wodurch die Stabilität bei Handhabung und Verarbeitung gewährleistet wird.

Beispielsweise beträgt die Druckfestigkeit des Rohlings mit 2 % ± 0,1 % Paraffin > 15 MPa ± 1 MPa.

Einfache Entfernung:

Das Bindemittel wird während der Vorsinterphase (300–500 °C ± 5 °C) in CO₂ und H₂O zersetzt (Zersetzungsrate > 99 % ± 1 %) und der Restkohlenstoff beträgt < 0,1 % ± 0,01 %, wodurch die Leistung des Hartmetalls nicht beeinträchtigt wird.

(3) Auswirkungen auf die Anwendung

Die Auswahl und Verwendung nichtmetallischer Bindemittel haben einen wichtigen Einfluss auf den Herstellungsprozess und die endgültige Leistung des Hartmetalls:

Pulverfließfähigkeit:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Das WC-Co-Pulver mit $1 \% \pm 0,1 \%$ PEG hat eine Fließfähigkeit von $<20 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 2 \text{ s}$ und ist zum automatischen Pressen geeignet (Effizienz $> 500 \text{ Stück}/\text{Stunde} \pm 50 \text{ Stück}/\text{Stunde}$).

verbesserte die Fließfähigkeit von Pulvern mit einer Partikelgröße von $<0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ um $10 \% \pm 2 \%$ und verringerte den Formverschleiß ($<0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$).

Körpereigenschaften:

PVA ($2 \% \pm 0,1 \%$) erhöht die Festigkeit des Grünkörpers ($> 12 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$) und eignet sich für die Formgebung komplexer Formen (Maßabweichung $< 0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$).

Stearinsäure ($1 \% \pm 0,1 \%$) reduziert den Pressdruck ($< 400 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$) und verringert die Rissbildung im Grünkörper ($< 1 \% \pm 0,2 \%$).

Sinterleistung:

Der Restkohlenstoff im Bindemittel beträgt $<0,1 \% \pm 0,01 \%$, wodurch die Dichte nach dem Sintern $>99 \% \pm 0,1 \%$ und die Härte $\text{HV} >2000 \pm 30$ beträgt.

Übermäßiger Restkohlenstoff ($>0,2 \% \pm 0,01 \%$) führt zu einer Erhöhung der Porosität ($>0,2 \% \pm 0,02 \%$) und einer Verringerung der Biegefestigkeit um $5 \% \pm 1 \%$ ($<4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$).

Ultimative Leistung:

μm) mit $2 \% \pm 0,1 \%$ Paraffin, Härte $\text{HV} 2200 \pm 30$, wird für Luftfahrtwerkzeuge verwendet (Lebensdauer $> 15 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$).

Der Grünkörper mit $1 \% \pm 0,1 \%$ PVA hat nach dem Sintern eine Porosität von $<0,05 \% \pm 0,01 \%$ und eine Druckfestigkeit von $>4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, was ihn für Bergbaubohrer geeignet macht (Lebensdauer $>1200 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$).

(4) Optimierungsstrategie

Um die Rolle nichtmetallischer Bindemittel voll auszuschöpfen, ist es notwendig, Zugabemenge, Mischvorgang, Entnahmevergange etc. zu optimieren:

Zusatzbetrag:

Empfohlen werden $1\text{--}3 \% \pm 0,1 \%$. Eine zu hohe Menge ($> 5 \% \pm 0,1 \%$) führt zu einem erhöhten Restkohlenstoffgehalt ($> 0,3 \% \pm 0,01 \%$) und einer Verringerung der Härte um $3 \% \pm 0,5 \%$ ($\text{HV} < 2000 \pm 30$).

Beispielsweise optimierten $2 \% \pm 0,1 \%$ PEG die Fließfähigkeit ($<20 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 2 \text{ s}$) und die Grünkörperfestigkeit ($>10 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$).

Mischvorgang:

Nassmischen: PVA und PEG werden in Wasser oder Ethanol gelöst (Konzentration $5 \% \pm 0,1 \%$), sprühgranuliert (Rotationsgeschwindigkeit $1000 \text{ U}/\text{min} \pm 50 \text{ U}/\text{min}$) und die Partikelgleichmäßigkeit beträgt $> 95 \% \pm 1 \%$.

Trockenmischen: Paraffin und Stearinsäure erhitzen und schmelzen ($60 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$), Kugelmühle (Geschwindigkeit $300 \text{ U}/\text{min} \pm 10 \text{ U}/\text{min}$, Zeit $5\text{--}10 \text{ Stunden} \pm 0,5 \text{ Stunden}$) und Agglomeration reduzieren ($< 3 \% \pm 1 \%$).

Optimierung: Durch den Einsatz einer Planetenkugelmühle (Kugel-Material-Verhältnis $5:1 \pm 0,1$) wird eine gleichmäßige Verteilung des Bindemittels gewährleistet (Abweichung $<5\% \pm 1\%$).

Entfernungsprozess:

Vorsintern: $300\text{--}500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, H_2 -Atmosphäre ($\text{O}_2 < 10 \text{ ppm} \pm 1 \text{ ppm}$), Heizrate $2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min} \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$, Zersetzungsrate $> 99 \% \pm 1 \%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vakuumentfettung: $<10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$, $400^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, Restkohlenstoff $<0,05\% \pm 0,01\%$.

Optimierung: Stufenweises Erhitzen ($200^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ für 1 Stunde $\pm 0,1$ Stunde, $400^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ für 2 Stunden $\pm 0,1$ Stunde), um sicherzustellen, dass keine Rückstände entstehen.

Umweltkontrolle:

Luftfeuchtigkeit $<50\%$ relative Luftfeuchtigkeit $\pm 5\%$, um zu verhindern, dass PVA Feuchtigkeit aufnimmt und Risse im Körper verursacht ($<1\% \pm 0,2\%$).

Temperatur $<30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, um eine Paraffinverflüchtigung zu verhindern (Verlust $<0,1\% \pm 0,01\%$).

(5) Prüfung und Qualitätskontrolle

Bindemittelgehalt: Thermogravimetrische Analyse (TGA, GB/T 27761-2011), Messung der hinzugefügten Menge und der Restmenge (Abweichung $<0,05\% \pm 0,01\%$).

Fließfähigkeit: Messen Sie gemäß GB/T 1482-2010 die Fließrate ($<20 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 2 \text{ s}$).

Festigkeit des Grünkörpers: Druckversuch (GB/T 3851-2015), Festigkeit $> 10 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$.

Restkohlenstoff: Infrarotabsorptionsmethode (GB/T 5124-2017), Restkohlenstoff $<0,1\% \pm 0,01\%$.

Online-Überwachung: Infrarot-Wärmebildung überwacht die Entfettungstemperatur (Abweichung $<5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$), um eine vollständige Zersetzung sicherzustellen.

Zusammenfassen

Nichtmetallische Bindemittel (wie PVA, PEG, Paraffin, Stearinsäure) spielen eine wichtige Rolle bei der Vorbehandlung von Hartmetallpulver, indem sie Partikel binden, die Fließfähigkeit ($<20 \text{ s}/50 \text{ g} \pm 2 \text{ s}$) verbessern und die Grünkörperfestigkeit ($> 10 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$) erhöhen. PVA und PEG eignen sich für die Nassmischung, Paraffin und Stearinsäure für die Trockenmischung. Die Zugabemenge liegt bei $1-3\% \pm 0,1\%$. Durch optimierte Nass-/Trockenmischung sowie Vorsinterung und Vakuumentfettung wird ein Restkohlenstoffgehalt von $<0,1\% \pm 0,01\%$ sichergestellt. Die optimierte Bindemittelanwendung verbessert die Sinterleistung (Dichte $> 99\% \pm 0,1\%$) und die Endleistung (Härte $\text{HV} > 2000 \pm 30$, Biegefestigkeit $> 4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$) von Hartmetall und wird häufig in Luftfahrtwerkzeugen (Lebensdauer > 15 Stunden ± 1 Stunde) und Bergbaubohrem (Lebensdauer $> 1200 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$) verwendet.

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 :

Aufkohlungsprozess mit Wolframkarbidpulver

Der Aufkohlungsprozess von Wolframcarbid (WC)-Pulver bildet die Grundlage für die Herstellung von Hartmetall (z. B. nickel- oder kobaltbasiertem Hartmetall) . Seine Qualität beeinflusst direkt die Korngröße ($0,52 \mu\text{m}$), die Reinheit ($> 99,9\%$), die Gleichmäßigkeit der Mikrostruktur ($> 95\%$) und die Leistung (Härte $1400\text{--}2200 \text{ HV}$, Biegefestigkeit $1,8\text{--}2,5 \text{ GPa}$) des Hartmetalls. Beim Aufkohlungsprozess reagiert Wolfram (W) oder Wolframoxid (WO_3) mit einer Kohlenstoffquelle (z. B. Ruß, Graphit), um WC zu erzeugen. Temperatur ($1400\text{--}2000 \text{ }^\circ\text{C}$), Atmosphäre (H_2 oder Vakuum), Kohlenstoffgehalt ($6,13 \pm 0,1 \text{ Gew.-%}$) und Partikelgröße ($0,12 \mu\text{m}$) müssen genau kontrolliert werden, um die nationalen Normen (wie GB/T 34505-2017, GB/T 5314-2011) und die Anforderungen an Prüfstäbe aus Hartmetall (wie GB/T 3851-2015) zu erfüllen. Es folgt eine detaillierte Beschreibung des Prozessablaufs der Karbonisierung von Wolframkarbidpulver, die die Vorbereitung der Rohstoffe, Reaktion, Nachbearbeitung und Qualitätskontrolle umfasst, kombiniert mit den neuesten Forschungsergebnissen (z. B. Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021).

1. Übersicht

Wolframkarbid (WC) ist die wichtigste Hartphase von Hartmetall und macht $80\text{--}95$ Gewichtsprozent aus (z. B. YN6, YG15). Seine chemische Zusammensetzung (Kohlenstoff $6,13 \pm 0,1$ Gewichtsprozent), seine Korngröße ($0,12 \mu\text{m}$) und seine Reinheit ($> 99,9\%$) wirken sich direkt auf die Legierungseigenschaften aus:

Härte: Je feiner die WC-Körner ($< 0,5 \mu\text{m}$), desto höher die Härte ($1800\text{--}2200 \text{ HV}$, GB/T 7997-2017).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Festigkeit: Abweichung des Kohlenstoffgehalts $<0,05\%$, um sicherzustellen, dass keine η -Phase (W3C) oder freier Kohlenstoff vorhanden ist, Biegefestigkeit 1,82,5 GPa (GB/T 38512015).

Korrosionsbeständigkeit: Geringe Verunreinigungen (O $<0,05\%$, Fe $<0,01\%$) verbessern die Korrosionsbeständigkeit ($<0,005$ mm/Jahr, GB/T 43342020).

Der Kern des Aufkohlungsprozesses besteht in der Reaktion von Wolfram und Kohlenstoff bei hohen Temperaturen zur Bildung von einphasigem WC. Eine Entkohlung (η -Phase, Härteverlust um 5–10 %) oder Aufkohlung (freier Kohlenstoff, Festigkeitsverlust um 10–15 %) sollte vermieden werden. Der Prozess umfasst die Rohstoffaufbereitung, Dosierung, Mischung, Aufkohlungsreaktion, Nachbearbeitung und Qualitätsprüfung und muss den Normen GB/T 34505-2017 (Pulveraufbereitung) und GB/T 5314-2011 (chemische Analyse) entsprechen.

2. Wolframkarbidpulver-Karbonisierungsprozess

Nachfolgend finden Sie eine detaillierte Beschreibung des Aufkohlungsprozesses von Wolframkarbidpulver, der in sechs Hauptschritten unterteilt ist und nationale Standards und Branchenpraktiken kombiniert.

2.1 Rohstoffaufbereitung

Wolframquelle:

Wolframmetallpulver (W):

Reinheit: $>99,9\%$, Verunreinigungen (Fe, Mo, Cr) $<0,01\%$ (GB/T 53142011).

Partikelgröße: $0,55\ \mu\text{m}$, D50 - Abweichung $\leq \pm 10\%$, wodurch die Gleichmäßigkeit der Reaktion gewährleistet wird.

Quelle: Wasserstoffreduktion von Wolframoxid ($\text{WO}_3 \rightarrow \text{W}$, 800–1000 °C, H_2 -Atmosphäre).

Wolframoxid (WO_3 oder $\text{WO}_2.9$):

Reinheit: $>99,95\%$, stabiler O-Gehalt ($\pm 0,1\%$).

Partikelgröße: $110\ \mu\text{m}$, D50 $\sim 5\ \mu\text{m}$, geeignet für die Großserienproduktion.

Quelle: Ammoniumparawolframat (APT) kalziniert (500–700 °C, Luft).

Kohlenstoffquelle:

Ruß:

Reinheit: $>99,9\%$, Asche $<0,01\%$, S $<0,005\%$.

Partikelgröße: 20100 nm, spezifische Oberfläche 50100 m^2/g , hohe Reaktivität.

Graphitpulver:

Reinheit: $>99,9\%$, Partikelgröße $15\ \mu\text{m}$, geeignet für grobes WC-Pulver.

Vorteile: Die Kosten sind 20–30 % niedriger, aber die Reaktionstemperatur ist 100–200 °C höher.

Weitere Zusatzstoffe (optional):

Katalysator: Co, Ni (0,10,5 Gew.-%), senkt die Karbonisierungstemperatur um 50–100 °C.

Dispergiermittel: PEG (0,10,2 Gew.-%), verbessert die Gleichmäßigkeit der Mischung um $>95\%$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Speichern :

Wolframpulver/Wolframoxid: vakuumversiegelt, Luftfeuchtigkeit <40 %, Oxidation vermeiden (O steigt um 0,02 %).

Ruß: versiegelt, Ar- geschützt, Lagerdauer <6 Monate.

Standard:

GB/T 345052017: Pulverreinheit >99,9 %, Partikelgrößenabweichung <±10 %.

GB/T 19077: Partikelgrößenanalyse (±0,01 μ m) .

Tabelle 1: Bedarf an Wolframcarbid-Rohstoffen

Rohstoff	Reinheit	Granularität	Verunreinigungen	Lagerbedingungen
Wolframmetallpulver	>99,9 %	0,55 μm	Fe, Mo, Cr <0,01 %	Vakuumversiegelt, Luftfeuchtigkeit <40 %
Wolframoxid (WO ₃)	>99,95 %	110 μm	O Abweichung <±0,1 %	Vakuumversiegelt, Ar -geschützt
Ruß	>99,9 %	20100 nm	Asche <0,01 %, S <0,005 %	Versiegelt, Ar -geschützt, < 6 Monate
Graphitpulver	>99,9 %	15 μm	Aschegehalt <0,01 %	Versiegelt, Luftfeuchtigkeit <40 %

2.2 Inhaltsstoffe

Kohlenstoff-Wolfram-Verhältnis:

Theoretischer Kohlenstoffgehalt: 6,13 Gew.- % (WC-Formel, C/W = 1/1 Molverhältnis).

Tatsächliches Verhältnis: 6,156,20 Gew.- % (unter Berücksichtigung eines Kohlenstoffverlusts von 0,020,05 %).

Abweichung: <±0,05 %, Vermeidung der η-Phase (<6,08 %) oder des freien Kohlenstoffs (>6,25 %).

Berechnungsformel:

Kohlenstoffmasse: $m_C = m_W \times 6,13 \% / (1 6,13 \%)$, m_W ist die Masse von Wolfram.

Wolframoxid: $m_C = m_{WO_3} \times (6,13 \% \times M_W / M_{WO_3}) / (1 6,13 \%)$, $M_W = 183,84$, $M_{WO_3} = 231,84$.

Beispiele:

Für 100 kg Wolframpulver werden 6,52 kg Ruß (inkl. Verlust) benötigt.

100 kg WO₃: ~5,15 kg Ruß erforderlich (unter Berücksichtigung der Reduzierung).

Ausrüstung:

Präzisionswaage (±0,001 g), Fehler <0,01 %.

Dosiersystem: automatische Dosierung, Abweichung <0,05 %.

Standard:

GB/T 53142011: Abweichung des Kohlenstoffgehalts <±0,05 %.

GB/T 38492015: Indirekte Überprüfung des Kohlenstoffgehalts (magnetische Eigenschaften).

2.3 Mischen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zweck: Sicherstellung einer gleichmäßigen Mischung von Wolframpulver/Wolframoxid und Ruß mit einer Gleichmäßigkeit von >95 % und Vermeidung lokaler Entkohlung oder Aufkohlung.

Verfahren:

Nassmahlen:

Medium: Ethanol oder deionisiertes Wasser (Feststoff -Flüssigkeits-Verhältnis 1:21:3).

Ausrüstung: Planetenkugelmühle (ZrO₂-Kugeln, Kugel-Material-Verhältnis 5:110:1).

Parameter: Geschwindigkeit 200400 U/min, Zeit 824 Stunden.

Additive: PEG (0,10,2 Gew. %), zur Verbesserung der Dispergierbarkeit.

Trockenmischung:

Ausrüstung: V-Mischer oder dreidimensionaler Mischer.

Parameter: Geschwindigkeit 50100 U/min, Zeit 412 Stunden.

Geeignet ist Graphitpulver (Partikelgröße > 1 µ m) .

Ergebnis:

Gemischpartikelgröße: D50 0,52 µ m , Abweichung <±10%.

Homogenität: >95 % (SEM-Beobachtung, 1000×).

Nachbearbeitung:

Vakuumtrocknen (80 °C, <10⁻² Pa), um Ethanol/Wasser zu entfernen, O <0,05 %.

Sieb (200–400 Maschenweite) zum Entfernen von Agglomeraten (<1 %).

Standard:

GB/T 183762014: Homogenität > 95 %, Agglomeration < 1 %.

GB/T 1482-2010: Fließfähigkeit <25 s/50 g (nach dem Mischen).

Tabelle 2: Mischprozessparameter

Verfahren	Ausrüstung	Medium	Parameter	Ergebnis
Nassmahlen	Planeten-Kugelmühle	Ethanol/Wasser (1:23)	200400 U/min, 824 Stunden	D50 0,52 µ m , Gleichmäßigkeit >95 %
Trockenmischung	V-Typ/3D-Mischer	keiner	50100 U/min, 412 Stunden	D50 15 µ m , Gleichmäßigkeit >90%

2.4 Karbonisierungsreaktion

Reaktionsprinzip:

Wolframpulver: $W + C \rightarrow WC$ (1400–1600 °C).

Wolframoxid: $WO_3 + 3C \rightarrow WC + 2CO$ (1500–2000 °C).

Ausrüstung:

Schubschiffchenofen (kontinuierlich): Graphitschiffchen, H₂- oder Vakuumatmosphäre.

Drehrohrofen: dynamische Reaktion, geeignet für die Produktion im großen Maßstab.

Vakuumofen: Kontrolle des freien Kohlenstoffs (<0,01 %).

Prozessparameter:

Temperatur:

Wolframpulver: 1400–1600 °C (konventionell), 1350–1450 °C (ultrafeines Korn).

Wolframoxid: 1500–2000 °C (Reduktion + Karbonisierung).

Atmosphäre:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

H₂ (Reinheit > 99,99 %, Durchflussrate 0,52 l/min): reduziert WO₃ und hemmt die Oxidation.

Vakuum (<10⁻² Pa) : Kontrolliert freien Kohlenstoff und ist für ultrafeine Körner geeignet.

Haltezeit:

Konventionell (12 μ m) : 24 Stunden.

Ultrafeine Körner (<0,5 μ m) : 12 Stunden.

Heizrate: 510°C/min, um Kornwachstum (>2 μ m) zu vermeiden .

Karbonisierungsschiffchen: hochreiner Graphit (C >99,9%), Größe 300×100×50 mm.

Reaktionskontrolle:

Kohlenstoffgehalt: 6,13 ± 0,05 %, Echtzeitüberwachung der CO-Emissionen (Wolframoxid).

Korngröße: 0,52 μ m (konventionell), 0,10,5 μ m (ultrafeines Korn).

Katalysator: Co, Ni (0,10,5 Gew.- %), Absenkttemperatur 50–100 °C.

Beispiele:

YN10 WC: Wolframpulver + Ruß, 1500 °C, H₂, 2 Stunden, Korngröße ~1 μ m .

YN8N WC: Wolframpulver + Ruß, 1400 °C, Vakuum, 1 Stunde, Korngröße <0,5 μ m .

Standard:

GB/T 345052017: Kornabweichung <±10 %, freier Kohlenstoff <0,01 %.

GB/T 183762014: Einphasiges WC, η-Phase <0,5 %.

Tabelle 3: Reaktionsparameter der Karbonisierung

Rohstoff	Temperatur (°C)	Atmosphäre	Isolationszeit	Korngröße (μ m)	Ausrüstung
Wolframpulver	1400/1600	H ₂ /Vakuum	24 Stunden	0,52	Schubschifföfen/Vakuumöfen
Wolframoxid	1500/2000	H ₂	36 Stunden	15	Drehrohrofen
Ultrafeinkörniges Wolframpulver	1350/1450	Vakuum	12 Stunden	0,10,5	Vakuumöfen

2.5 Nachbearbeitung

abkühlen:

Rate: 510 °C/min bis <100 °C (H₂- oder Ar- Schutz).

Zweck: Vermeidung von Oxidation (O-Anstieg von 0,02 %) und Kornwachstum (>2 μ m) .

Zerkleinern und Mahlen:

Ausrüstung: Backenbrecher (Grobzerkleinerung, <100 μ m) , Planetenkugelmühle (Feinmahlung, <2 μ m) .

Parameter: Rotationsgeschwindigkeit 200–300 U/min, Zeit 28 Stunden, ZrO₂-Kugeln (Verhältnis Kugel zu Material 5:1).

Ergebnisse: D₅₀ 0,52 μ m (konventionell), 0,10,5 μ m (ultrafeines Korn).

Screening und Bewertung:

Ausrüstung: Vibrationssieb (200–400 Maschenweite), Luftklassierer (±0,1 μ m) .

Ergebnisse: Partikelgrößenabweichung <±10 %, Agglomeration <1 %.

Reinigung:

Medium: deionisiertes Wasser oder Ethanol, Ultraschallreinigung (500 W, 10 min).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zweck: Entfernen von Oberflächenverunreinigungen (Fe <0,01 %, C <0,01 %).

trocken:

Vakuumtrocknung (80°C, <10⁻² Pa), O <0,05%.

Standard:

GB/T 19077: Partikelgrößenabweichung <±10 %.

GB/T 51692013: Porosität <0,01 % (indirekte Überprüfung).

2.6 Qualitätsprüfung

Chemische Zusammensetzung:

Gesamtkohlenstoff: 6,13 ± 0,05 % (Kohlenstoff-Schwefel-Analyse, ± 0,01 %).

Freier Kohlenstoff: <0,01 % (Verbrennungsmethode, ±0,005 %).

Verunreinigungen: Fe, Mo, Cr <0,01 % (ICPMS, ±0,001 %).

Standard: GB/T 53142011.

Mikrostruktur:

Phasenzusammensetzung: einphasiges WC, η-Phase <0,5 %, freier Kohlenstoff <0,01 % (XRD, Empfindlichkeit 0,1 %).

Korngröße: 0,52 μm (konventionell), 0,10,5 μm (ultrafeines Korn, SEM, ± 0,1 μm).

Standard: GB/T 183762014.

Physikalische Eigenschaften:

Dichte: 15,615,8 g/cm³ (Archimedes-Methode, ±0,01 g/cm³, GB/T 38502015).

Spezifische Oberfläche: 15 m²/g (BET, ±0,1 m²/g).

Fließfähigkeit: <25 s/50 g (GB/T 1482-2010).

Beispiele:

YN10 WC: Gesamtkohlenstoff 6,14 %, freier Kohlenstoff <0,005 %, Korngröße ~1 μm, Dichte 15,7 g/cm³.

YN8N WC: Gesamtkohlenstoff 6,12 %, Korn <0,5 μm, η-Phase <0,3 %.

Tabelle 4: Qualitätsüberprüfungsstandards für WC-Pulver

Projekt	Erfordern	Testmethode	Beispiel (YN10)
Gesamtkohlenstoff	6,13 ± 0,05 %	Kohlenstoff- und Schwefelanalyse	6,14 %
Freier Kohlenstoff	<0,01 %	Verbrennungsmethode	<0,005 %
Verunreinigungen (Fe, Mo)	<0,01 %	ICPMS	Fe <0,005 %
Körmung	0,52 μm (normal)	Rasterelektronenmikroskop (SEM)	~1 μm
Phasenzusammensetzung	Einphasiges WC, η-Phase <0,5 %	XRD	η-Phase <0,3 %
Dichte	15.615,8 g/cm ³	Archimedische Methode	15,7 g/cm ³
Spezifische Oberfläche	15 m ² /g	WETTE	34 m ² /g
Liquidität	<25 s/50 g	Hall-Durchflussmesser	~20 s/50 g

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Prozessoptimierung und -steuerung

Um die Qualität des WC-Pulvers sicherzustellen, müssen folgende Schlüsselverbindungen optimiert werden:

Kontrolle des Kohlenstoffgehalts:

Präzise Dosierung ($\pm 0,01$ %) und Echtzeitüberwachung der CO-Emissionen (Wolframoxid-Verfahren).

Feedback-Anpassung: Wenn der Kohlenstoff nicht ausreicht, fügen Sie Ruß hinzu (0,02–0,05 Gew.-%). Wenn zu viel Kohlenstoff vorhanden ist, verlängern Sie die Isolationszeit (0,51 Stunden).

Korngrößenkontrolle:

Aufkühlung bei niedriger Temperatur (1350–1450 °C, ultrafeine Körner), Zugabe von VC und Cr₃C₂ (0,1–0,5 Gew.-%) zur Hemmung des Kornwachstums.

Schnelle Abkühlung (10°C/min), Kornabweichung $< \pm 10\%$.

Verunreinigungskontrolle:

Hochreine Rohstoffe (W $> 99,9$ %, Ruß $> 99,9$ %).

Inerte Atmosphäre (H₂-Reinheit $> 99,99$ %), O $< 0,05$ %.

Gleichmäßigkeit:

Hochenergie-Kugelmahlen (1624 Stunden), Homogenität > 95 %.

Ultraschalldispargierung (500 W, 10 min), Agglomeration $< 0,5$ %.

Beispiele:

YN8N: vakuumkarbonisiert bei 1350 °C, VC 0,2 Gew.-%, Korngröße $< 0,5$ μ m, Härte 1800 HV (Sandvik, 2023).

4. Praktische Anwendungsfälle

YN6 WC-Pulver (Messer):

Verfahren: Wolframpulver (12 μ m) + Ruß, 1500 °C, H₂, 2 Stunden.

Parameter: Gesamtkohlenstoff 6,14 %, Korngröße $\sim 1,2$ μ m, freier Kohlenstoff $< 0,005$ %.

Leistung: Härte 1400 HV, Biegefestigkeit 1,8 GPa (GB/T 38512015).

Anwendung: Korrosionsbeständiges Werkzeug, Lebensdauer 2,5 Stunden.

YN10 WC-Pulver (Schimmel):

Verfahren: Wolframoxid (5 μ m) + Ruß, 1800 °C, H₂, 4 Stunden.

Parameter: Gesamtkohlenstoff 6,13 %, Korngröße ~ 1 μ m, η -Phase $< 0,3$ %.

Leistung: KIC 9 MPa·m^{1/2}, Korrosionsrate $< 0,005$ mm/Jahr (GB/T 43342020).

Anwendung: Chemischer Schimmel, Lebensdauer 100.000 Mal.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

YN8N WC Pink (Luftfahrt):

Verfahren: Wolframpulver (0,5 μ m) + Ruß, 1400 °C, Vakuum, 1 Stunde, VC 0,2 Gew. %.

Parameter: Gesamtkohlenstoff 6,12 %, Korngröße <0,5 μ m, Dichte 15,8 g/cm³.

Eigenschaften: Härte 1800 HV, Festigkeit 2,2 GPa.

Anwendung: Luftfahrtwerkzeuge, Lebensdauer 4 Stunden.

Tabelle 5: Anwendungsfälle von WC-Pulver

Marke	Rohstoff	Karbonisierungsprozess	Kohlenstoffgehalt	Getreide μ m	Leistung	Anwendung
YN6	Wolframpulver + Ruß	1500°C, H ₂ , 2 Stunden	6,14 %	~1,2	Härte 1400 HV, Festigkeit 1,8 GPa	Standzeit: 2,5 Stunden
YN10	Wolframoxid + Ruß	1800°C, H ₂ , 4 Stunden	6,13 %	~1	KIC 9 MPa·m ^{1/2} , Korrosion <0,005 mm/Jahr	Schimmel, Lebensdauer 100.000 Mal
YN8	Wolframpulver + Kohlenstoff schwarz+VC	1400°C, Vakuum, 1 Stunde	6,12 %	<0,5	Härte 1800 HV, Festigkeit 2,2 GPa	Luftfahrtwerkzeug, Lebensdauer 4 Stunden

5. Fazit

Der Aufkohlungsprozess von Wolframcarbidpulver umfasst:

Rohstoffaufbereitung: Wolframpulver (0,55 μ m, >99,9%) oder Wolframoxid (110 μ m, >99,95%), Ruß (20100 nm, >99,9%).

Inhaltsstoffe: Kohlenstoffgehalt 6,156,20 Gew.-% (\pm 0,05 %) unter Berücksichtigung von Verlusten.

Mischen: Nassmahlen (824 Stunden, Homogenität >95%) oder Trockenmischen (412 Stunden).

Karbonisierungsreaktion: 1400–2000 °C, H₂/Vakuum, 16 Stunden, Korngröße 0,12 μ m.

Nachbehandlung: Zerkleinern, Mahlen (D50 0,52 μ m), Sieben, Reinigen und Trocknen.

Qualitätsüberprüfung: Gesamtkohlenstoff 6,13 \pm 0,05 %, freier Kohlenstoff <0,01 %, η -Phase <0,5 %.

Tastensteuerung:

Kohlenstoffgehalt: Abweichung < \pm 0,05 %, Vermeidung von η -Phase/freiem Kohlenstoff.

Korn: Niedertemperaturkarbonisierung (1350–1450 °C) + Inhibitor (VC 0,1–0,5 Gew.-%), kontrolliert <0,5 μ m.

Verunreinigungen: hochreine Rohstoffe + inerte Atmosphäre, O <0,05 %, Fe <0,01 %.

Standard:

GB/T 34505 2017: Pulveraufbereitung, Reinheit >99,9 %.

GB/T 5314 2011: Chemische Zusammensetzung, Kohlenstoff \pm 0,05 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 18376 2014: Mikrostruktur, η -Phase <0,5 %.

GB/T 3851 2015: Biegefestigkeit (Nachweis durch Prüfstab).

GB/T 7997 2017: Härte.

GB/T 4334 2020: Korrosionsbeständigkeit.

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 :

Sprühtrocknungs- und Granulierungsverfahren für Hartmetallmischpulver

Hartmetall -Mischpulver ist ein wichtiger Prozess, um die nassgemahlene Mischauflschlämmung (enthält Wolframkarbid (WC), Kobalt (Co), Additive wie TaC und ein flüssiges Medium wie Ethanol) in granuliertes Pulver mit guter Fließfähigkeit ($<30 \text{ s/50 g}$), gleichmäßiger Partikelgröße ($D_{50} 50\text{--}200 \mu\text{m}$) und geeigneter Dichte (35 g/cm^3) umzuwandeln. Es eignet sich zum Pressen und Sintern und beeinflusst direkt die Eigenschaften von Hartmetall (wie Härte $1400\text{--}2200 \text{ HV}$, Biegefestigkeit $1,5\text{--}2,5 \text{ GPa}$). Im Folgenden werden Prozess, Geräteauswahl, Einflussfaktoren, Optimierungsmaßnahmen und Anwendungen detailliert beschrieben.

1. Prozessübersicht

Die Sprühtrocknung und Granulierung umfasst die folgenden Schritte:

Mischschlammaufbereitung

Sprühtrocknung

Granulierung und Sammlung

Nachbearbeitung und Screening

Qualitätskontrolle

Ziel :

Erhalten Sie granuliertes Pulver mit hoher Fließfähigkeit und gleichmäßiger Partikelgröße.

Reduzieren Sie Sinterdefekte (wie Porosität $<0,1 \%$), erhöhen Sie die Härte um 5% und die Biegefestigkeit um 10% .

2. Detaillierte Prozessbeschreibung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1 Herstellung der Mischschlammischung

Rohstoffe : WC (0,22 μm), Co (12 μm), Additiv (TaC <1 μm), flüssiges Medium (Ethanol, Fest-Flüssig-Verhältnis 1:11:2), Bildungsmittel (Polyethylenglykol PEG, 12 %).

Verfahren : Hochgeschwindigkeitsrühren (500–1000 U/min, 12 Stunden), Feststoffgehalt 60–80 %, Viskosität 100–500 mPa·s, Filtration (200 mesh, <75 μm).

Ausrüstung : Edelstahl-Mischtank (50500 l), Hochschermischer.

Zweck : Gewährleistung einer gleichmäßigen Aufschlämmung und Verhinderung einer Düsenverstopfung.

Daten : Feststoffgehalt 70 %, Viskosität 200 mPa·s, Fließfähigkeit um 20 % verbessert (Sandvik, 2023).

2.2 Sprühtrocknung

Verfahren : Die Aufschlämmung wird in Tröpfchen (10–100 μm) zerstäubt, mit heißer Luft (150–250 °C) getrocknet und die Partikel werden von einem Zyklonabscheider gesammelt.

Ausrüstung : Druck- (0,52 MPa) oder Zentrifugalsprühtrockner (10.000–20.000 U/min), Trockenkammer aus Edelstahl (15 m Durchmesser), Zyklonabscheider (Effizienz > 95 %).

Parameter : Einlasstemperatur 150–250 °C, Auslasstemperatur 80–120 °C, Schlammflussrate 10–100 l/h.

Zweck : Bildung kugelförmiger Partikel und Verdampfen von Flüssigkeit.

Daten : Einlasstemperatur 180 °C, Auslasstemperatur 100 °C, D50 ~100 μm , Fließfähigkeit <25 s/50 g (ScienceDirect, 2020).

2.3 Granulierung und Sammlung

Verfahren : Die Tröpfchen werden zu sphärischen Partikeln (D50 50–200 μm) getrocknet, in einem Zyklonabscheider gesammelt und auf <40°C gekühlt.

Granulateigenschaften : Schüttdichte 35 g/cm³, Feuchtigkeitsgehalt <0,5 %.

Ausstattung : mehrstufiger Zyklonabscheider, Beutelfilter, Luftkühlgerät.

Zweck : Herstellung gleichmäßiger, flüssiger Partikel mit einer Rückgewinnungseffizienz von >95 %.

2.4 Nachbearbeitung und Screening

Verfahren : Bei einem Feuchtigkeitsgehalt von > 0,5 %, zweites Trocknen (80 °C, 2 Stunden, Vakuumgrad < 100 Pa), Sieben (50200 μm), Mischen bei niedriger Geschwindigkeit (50 U/min, 1 Stunde).

Ausstattung : Vakuumtrockenofen (50200 L), Vibrationssieb (2030 Hz).

Zweck : Enge Partikelgrößenverteilung, Verbesserung der Fließfähigkeit um 15 %.

Daten : D50 100 μm , 10 % Verbesserung der Gleichmäßigkeit der Verdichtungsdichte (ISO 4499).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.5 Qualitätskontrolle

Erkennung :

Partikelgröße: Laser-Partikelgrößenanalysator, D50 50200 μm .

Fließfähigkeit: Hall-Durchflussmesser, <30 s/50 g (GB/T 1482).

Schüttdichte: 35 g/cm³ (GB /T 1479).

Feuchtigkeit: <0,5 %.

Chemische Zusammensetzung: ICP (Co \pm 0,1 %), XRF.

Sauerstoffgehalt: <0,2 %.

Morphologie: SEM, sphärische Partikel.

Standard : GB/T 3849 (Kobalt-Magnettest), ISO 4499 (Mikrostrukturanalyse).

Daten : Fließfähigkeit <25 s/50 g, Sinterporosität <0,1 %, Leistungsstabilität um 15 % verbessert (Sandvik, 2023).

3. Auswahl der Sprühtrocknungsanlage

Die Auswahl der richtigen Sprühtrocknungsanlage ist entscheidend für die Partikelqualität (D50 50–200 μm) , die Fließfähigkeit (<30 s/50 g) und die Produktionseffizienz von Hartmetallmischpulver. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Analyse gängiger Gerätetypen, Auswahlkriterien, Anwendungsszenarien, Schlüsselparameter und Markenempfehlungen .

3.1 Gerätetyp

3.1.1 Drucksprühtrockner

Prinzip : Die Hochdruckpumpe zerstäubt die Aufschlämmung durch eine Düse (Öffnung 0,52 mm) in Tröpfchen (20100 μm) und heiße Luft trocknet sie zu Partikeln.

Merkmale :

Der Zerstäubungsdruck beträgt 0,52 MPa, der Partikel D50 beträgt 80150 μm und die Partikelgrößenverteilung ist eng.

Einfache Struktur, geringe Wartungskosten, geeignet für kleine und mittlere Produktion (50500 kg/h).

Geeignet für Schlamm mit hohem Feststoffgehalt (70–80 %).

Vor- und Nachteile :

Vorteile : gleichmäßige Partikel, niedrige Gerätekosten (ca. 501 Millionen RMB) und einfache Bedienung.

Nachteile : Hoher Feststoffgehalt (>80%) führt leicht zum Verstopfen der Düse, und der Feinpartikelanteil (<50 μm) ist relativ hoch (10–20%).

Anwendbare Szenarien :

Mittelkörniges Hartmetall (z. B. YG6, YG8, Härte 1400–1600 HV).

Herstellung von Schneidwerkzeugen für allgemeine Zwecke und Bergbauwerkzeugen, Partikel D50 100150 μm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Schlüsselparameter :

Düsendruck: 12 MPa, D50 80120 μ m .
Zulufttemperatur: 150–200 °C (Ethanol), Feuchtigkeit < 0,5 %.
Trockenkammer: Durchmesser 13 m, Luftstrom 1000–3000 m³/h.
Kapazität: 50500 kg/h, Rückgewinnungseffizienz 9095 %.

3.1.2 Zentrifugal-Sprühtrockner

Prinzip : Die Aufschlammung wird durch eine schnell rotierende Zentrifugalscheibe (10.000–20.000 U/min) in Tröpfchen (1080 μ m) zerstäubt und mit heißer Luft getrocknet.

Merkmale :

Hochgeschwindigkeitszerstäubung, Partikel D50 50100 μ m , hohe Sphärizität, ausgezeichnete Fließfähigkeit (<25 s/50 g).

Geeignet für ultrafeine Partikel und Schlämme mit niedriger Viskosität (100-300 mPa·s) .

Hohe Produktionskapazität (100–1000 kg/h), geeignet für die Großproduktion.

Vor- und Nachteile :

Vorteile : kleine und gleichmäßige Partikel, um 20 % verbesserte Fließfähigkeit, Rückgewinnungseffizienz > 98 %.

Nachteile : Hohe Gerätekosten (100,2 Millionen RMB), Schleuderscheiben müssen regelmäßig ausgetauscht werden.

Anwendbare Szenarien :

Ultrafeinkörniges Hartmetall (z. B. für Präzisionswerkzeuge, Härte 1800–2200 HV).

Hochleistungsformen erfordern D50 50100 μ m .

Schlüsselparameter :

Drehzahl der Schleuderscheibe: 15.000–20.000 U/min, D50 50–80 μ m .

Eingangstemperatur: 180–250 °C, Schüttdichte 45 g/cm³ .

Trockenkammer: Durchmesser 25 m, Luftstrom 2000–5000 m³/h.

Kapazität: 100–1000 kg/h, Rückgewinnungseffizienz 95–98 %.

3.1.3 Zweistoff-Sprühtrockner

Prinzip : Hochdruckgas (Druckluft oder Stickstoff, 0,20,5 MPa) wird an der Düse mit der Aufschlammung vermischt und in ultrafeine Tröpfchen (550 μ m) zerstäubt .

Merkmale :

Ultrafeine Partikel (D50 2080 μ m) , geeignet für Labor- oder Hochpräzisionsanwendungen.

Die Produktionskapazität ist gering (10100 kg/h) und der Energieverbrauch hoch.

Geeignet für Schlämme mit geringem Feststoffgehalt (50–60 %).

Vor- und Nachteile :

Vorteile : extrem feine Partikel, enge Partikelgrößenverteilung, geeignet für ultrafeinkörniges Hartmetall.

Nachteile : geringe Produktionskapazität, komplexe Ausrüstung und hohe Kosten (801,5 Millionen RMB).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendbare Szenarien :

ultrafeinkörnige Hartmetalle (zB Luftfahrtwerkzeuge, Härte 2000 HV).

Kleinserienfertigung, Partikel D50 <80 μm .

Schlüsselparameter :

Luftdruck: 0,30,5 MPa, D50 2050 μm .

Zulufttemperatur: 150–200 °C, Feuchtigkeit < 0,3 %.

Trockenkammer: Durchmesser 0,51,5 m, Luftstrom 500–1500 m^3/h .

Kapazität: 10100 kg/h, Rückgewinnungseffizienz 8590 %.

3.2 Auswahlgrundlage

Produktionsmaßstab :

Kleiner Maßstab (<100 kg/h): Zweiflüssigkeitstyp, geeignet für Labore oder Forschung und Entwicklung.

Mittlerer Maßstab (100–500 kg/h): Drucktyp, unter Berücksichtigung von Kosten und Effizienz.

Großmaßstab (> 500 kg/h): Zentrifugal, hohe Kapazität, für die Industrialisierung geeignet.

Partikelanforderungen :

D50 100150 μm : Drucktyp, geeignet für YG6 und YG8.

D50 50100 μm : Zentrifugal, geeignet für Werkzeuge mit ultrafeiner Körnung.

D50 <80 μm : Zweiflüssigkeitstyp, hochpräzise Anwendung.

Eigenschaften der Gülle :

Hoher Feststoffgehalt (70–80 %): Drucktyp, verstopfungsbeständig.

Niedrige Viskosität (100–300 $\text{mPa}\cdot\text{s}$) : zentrifugale, gleichmäßige Zerstäubung.

Niedriger Feststoffgehalt (50–60 %): Zweiflüssigkeitstyp, ultrafeine Zerstäubung.

Umweltanforderungen :

Schutz durch Inertgas (Stickstoff): Zentrifugal- oder Zweiflüssigkeitstyp, Sauerstoffgehalt <0,1 %.

Wenig Staub: Ausgestattet mit einem hocheffizienten Zyklonabscheider und einem Beutelstaubsammler beträgt die Rückgewinnungseffizienz >95 %.

3.3 Anwendbare Szenarien

Drucktyp : YG6, YG8 - Schneidwerkzeuge, Bergbauwerkzeuge, D50 100150 μm , Kapazität 200 kg/h, niedrige Kosten.

Zentrifugal : Werkzeuge und Formen mit ultrafeiner Körnung, D50 50100 μm , Produktionskapazität 500 kg/h, um 20 % erhöhte Fließfähigkeit.

Dual-Fluid - Typ : Forschung und Entwicklung von Luftfahrtwerkzeugen, D50 <80 μm , Produktionskapazität 50 kg/h, Härte um 5 % erhöht.

3.4 Anwendungsfälle

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

YG6 -Werkzeug :

Ausrüstung : SPX Anhydro-Drucktyp, 1 MPa, 180 °C, Kapazität 200 kg/h.

Ergebnisse : D50 120 μm , Fließfähigkeit 25 s/ 50 g, Härte 1500 HV, Lebensdauer der Gusseisenbearbeitung 2 Stunden.

Schneidwerkzeuge mit ultrafeinem Korn :

Ausrüstung : GEA Niro-Zentrifuge, 15.000 U/min, 180 °C, Kapazität 500 kg/h, Stickstoffüberzug.

Ergebnisse : D50 80 μm , Fließfähigkeit 20 s/50 g, Härte 2000 HV, Bearbeitungsdauer von Edelstahl 4 Stunden.

Entwicklung von Luftfahrtwerkzeugen :

Ausrüstung : Büchi-Zweiflüssigkeitstyp, 0,4 MPa, 150 °C, Kapazität 20 kg/h.

Ergebnisse : D 50 50 μm , Fließfähigkeit 22 s/50 g, Härte 2000 HV, Leistungsverbesserung der Testcharge um 5 %.

Datenunterstützung :

Zentrifugal: D50 50100 μm , Rückgewinnungseffizienz 98 % (Sandvik, 2023).

Drucktyp: D50 100150 μm , Kosten um 20 % reduziert (ScienceDirect, 2020).

Zweistofftyp: D50 2080 μm , Partikelgrößenverteilung um 10 % enger (ISO 4499).

4. Einflussfaktoren

4.1 Schlammeigenschaften

Feststoffgehalt: 60–80 %. Ein zu hoher Wert (> 80 %) verstopft die Düse, ein zu niedriger Wert (< 60 %) reduziert die Dichte um 10 %.

Viskosität: 100500 $\text{mPa}\cdot\text{s}$. Bei zu hoher Viskosität (>1000 $\text{mPa}\cdot\text{s}$) erfolgt die Zerstäubung ungleichmäßig.

Formmittel: PEG 12 %. Zu viel (> 3 %) führt zum Zusammenkleben der Partikel, zu wenig (< 1 %) reduziert die Fließfähigkeit um 20 %.

4.2 Sprühtrocknungsparameter

Eingangstemperatur: 150–250 °C, eine zu hohe Temperatur (> 300 °C) führt zu Oxidation und die Härte verringert sich um 5 %.

Zerstäubungsdruck/-geschwindigkeit: 1 MPa oder 15.000 U/min, beeinflusst D50.

Schlammflussrate: zu hoch (> 100 L/h) Partikel D50 >200 μm .

4.3 Geräteleistung

Düse/Schleuderscheibe: Verschleiß führt zu einer 10 % breiteren Partikelgrößenverteilung.

Trockenkammer: ungleichmäßiger Luftstrom, Agglomerationsrate um 15 % erhöht.

Trennleistung: <90 % Feinpulververlust >10 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4 Umweltkontrolle

Luftfeuchtigkeit: >50 % Feuchtigkeitszunahme um 0,5 %.

Temperatur: >300°C. Der Sauerstoffgehalt steigt um 0,1 %.

Staub: Keine Filterung, Biegefestigkeit um 10 % reduziert.

Daten : Feststoffgehalt 70 %, Zulauftemperatur 180 °C, D50 100 μ m , Fließfähigkeit um 20 % verbessert (ScienceDirect, 2020).

5. Optimierungsmaßnahmen

Aufschlammungsformel : Feststoffgehalt 70,75 %, PEG 1,5 %, Fließfähigkeit um 20 % erhöht .

Parameterkontrolle : Zulufttemperatur 180 °C, 1 MPa, D50 80-120 μ m .

Hocheffiziente Ausrüstung : Zentrifugaltyp, Rückgewinnungseffizienz > 98 %.

Umweltkontrolle : Stickstoffschutz, Sauerstoffgehalt <0,1 %, Härte um 5 % erhöht .

Nachbehandlung : Siebung 100–200 μ m , Porositätsreduzierung 10 % .

Wirkung : Fließfähigkeit <25 s/50 g, Pressgleichmäßigkeit um 15 % erhöht, Härte um 5 % erhöht und Biegefestigkeit um 10 % erhöht.

6. Praktische Anwendungsfälle

YG6 -Werkzeug : Drucktyp (1 MPa, 180 °C), D50 120 μ m , Fließfähigkeit 25 s/50 g, Härte 1500 HV, Bearbeitungsdauer von Gusseisen 2 Stunden.

Werkzeug mit ultrafeinem Korn : Zentrifugal (15.000 U/min, 180 °C), D50 80 μ m , Fließfähigkeit 20 s/50 g, Härte 2000 HV, Lebensdauer für Edelstahl 4 Stunden.

YG15 -Form : Zentrifugal (12.000 U/min, 200 °C), D50 150 μ m , Fließfähigkeit 28 s/50 g, Biegefestigkeit 2,5 GPa , Lebensdauer 120.000-mal .

7. Fazit

Der Sprühtrocknungs- und Granulierungsprozess von Hartmetall-Mischpulver umfasst die Herstellung einer Mischaufschlammung, Sprühtrocknung, Granulierung und Sammlung, Nachbearbeitung und Siebung sowie Qualitätskontrolle. Ziel ist die Herstellung eines Granulatpulvers mit guter Fließfähigkeit (<30 s/50 g) und gleichmäßiger Partikelgröße (D50 50-200 μ m) . Zur Auswahl stehen Druckgeräte (kleiner und mittlerer Maßstab, D50 100-150 μ m) , Zentrifugalgeräte (großer Maßstab, D50 50-100 μ m) und Zweiflüssigkeitsgeräte (Forschung und Entwicklung, D50 <80 μ m) , die je nach Produktionsmaßstab, Partikelbedarf, Aufschlammungseigenschaften und Kosten ausgewählt werden. Durch Optimierung der Aufschlammungsformel, der Parameter, der Geräte und der Umgebung kann die Fließfähigkeit um 20 %, die Härte um 5 % und die Biegefestigkeit um 10 % verbessert werden .

S tandition :

GB/T 3849: Kobalt-Magnettest.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISO 4499: Mikrostrukturanalyse.

GB/T 1482: Fließfähigkeitstest.



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 :

Nickelpulver für Nickel-Basis-Hartmetall

Nickelbasiertes Hartmetall (NickelBonded Cemented Carbide) verwendet Nickel (Ni) als Bindephase, um Kobalt (Co) in herkömmlichem kobaltbasierten Hartmetall zu ersetzen. Es wird häufig in Szenarien eingesetzt, in denen eine hohe Korrosionsbeständigkeit , Hochtemperaturbeständigkeit und Verschleißfestigkeit erforderlich sind, wie zum Beispiel in chemischen Geräten, Ölbohrwerkzeugen und Hochtemperaturformen. Nickelpulver ist ein wichtiger Rohstoff für nickelbasiertes Hartmetall und seine Qualität wirkt sich direkt auf die Mikrostruktur, die mechanischen Eigenschaften und die Korrosionsbeständigkeit der Legierung aus. Im Folgenden werden die Eigenschaften, Anforderungen, Herstellungsmethoden und Anwendungen von Nickelpulver, das in nickelbasiertem Hartmetall verwendet wird , zusammen mit Industriestandards (wie GB/T 5243, ISO 4499) und den neuesten Forschungsergebnissen (wie Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2020) ausführlich beschrieben, alles in chinesischer Sprache, um sicherzustellen, dass der Inhalt genau, umfassend und faszinierend ist.

1. Übersicht

Nickelbasiertes Hartmetall verwendet Wolframkarbid (WC) als Hartphase und Nickel als Bindephase. Typische Güten sind YN6 (6 % Ni) und YN10 (10 % Ni). Im Vergleich zu kobaltbasierten Legierungen (wie YG6 und YG15) weisen nickelbasierte Legierungen folgende Eigenschaften auf:

Höhere Korrosionsbeständigkeit : In sauren (HCl, H₂SO₄) und heißen Umgebungen wird die Korrosionsrate um 2050 % reduziert (GB/T 43342020).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hervorragende Hochtemperaturleistung : Die Oxidationsbeständigkeitstemperatur wird um 100–150 °C erhöht, geeignet für Hochtemperaturformen.

Etwas geringere Festigkeit und Zähigkeit : Die Biegefestigkeit (1,82,2 GPa) ist 1015 % niedriger als bei kobaltbasierten Werkstoffen und die Bruchzähigkeit (KIC 710 MPa·m^{1/2}) ist 510 % niedriger.

von Nickelpulver (Reinheit, Partikelgröße, Morphologie, Sauerstoffgehalt) wirkt sich direkt aus auf:

Mikrostruktur : Homogenität > 95 %, Korngröße 0,52 µm , η-Phase/freier Kohlenstoff < 1 % (GB/T 183762014) .

Mechanische Eigenschaften : Härte 1400–1800 HV, Biegefestigkeitsabweichung < 5 % (GB/T 38512015).

Korrosionsbeständigkeit : Korrosionsrate <0,005 mm/Jahr (GB/T 43342020) .

Im Folgenden wird Nickelpulver aus vier Blickwinkeln detailliert erläutert: Eigenschaften, Anforderungen, Herstellung und praktische Anwendungen.

2. Eigenschaften und Anforderungen an Nickelpulver

Bei Hartmetall auf Nickelbasis gelten strenge Anforderungen an das Nickelpulver , das den Standards hinsichtlich chemischer Zusammensetzung, physikalischer Eigenschaften und Mikromorphologie entsprechen muss, um die gleichbleibende Leistung der Legierung zu gewährleisten.

2.1 Chemische Zusammensetzung

Reinheit :

Anforderungen: >99,9 % (Massenanteil), Gesamtverunreinigungsgehalt <0,1 % (GB/T 53142011).

Hauptverunreinigungen:

Sauerstoff (O): <0,05 %, hoher Sauerstoffgehalt führt zur Entkohlung (η-Phase, Co₃W₃C oder Ni₃W₃C) und die Härte nimmt um 510 % ab.

Kohlenstoff (C): <0,01 %, vermeiden Sie freien Kohlenstoff (>1 % reduziert die Festigkeit um 10 %).

Eisen (Fe): <0,01 %, das Risiko von Mikrorissen durch Fe-Verunreinigungen steigt um 15 %.

Schwefel (S), Phosphor (P): jeweils <0,005 %, Phase mit niedrigem Schmelzpunkt vermeiden (Versprödung nimmt um 20 % zu).

Testmethode:

ICPMS: Erkennung von Metallen wie Ni und Fe (Genauigkeit ±0,001 %).

Kohlenstoff- und Schwefelanalysator: Erkennung von C und S (Genauigkeit ±0,001 %).

Sauerstoff- und Stickstoffanalysator: O erkennen (Genauigkeit ±0,01 %).

Beispiele :

YN10: Nickelpulverreinheit 99,95 %, O <0,03 %, Fe <0,005 % (Sandvik, 2023).

2.2 Physikalische Eigenschaften

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Granularität :

Bereich: 0,52 μm (konventionell), 0,20,8 μm (Ultrafeinkörnige Legierung).

Gleichmäßigkeit: D50-Abweichung $<\pm 10\%$, D90/D10 <3 , wodurch eine Mischgleichmäßigkeit von $>95\%$ gewährleistet wird.

Bedeutung:

Eine feine Partikelgröße ($<1\ \mu\text{m}$) verbessert die Gleichmäßigkeit der Bindephasenverteilung und erhöht die Festigkeit um 10% .

Zu feine Partikel ($<0,2\ \mu\text{m}$) neigen leicht zur Agglomeration und die Gleichmäßigkeit verringert sich um 510% .

Prüfmethode: Laser-Partikelgrößenanalysator (Genauigkeit $\pm 0,01\ \mu\text{m}$, GB/T 19077).

Spezifische Oberfläche :

Reichweite: $13\ \text{m}^2/\text{g}$ (konventionell), $35\ \text{m}^2/\text{g}$ (Nanopulver).

Bedeutung: Eine hohe spezifische Oberfläche verbessert die Sinteraktivität und reduziert die Sintertemperatur in der Flüssigphase um $2030\ ^\circ\text{C}$.

Prüfmethode: BET-Methode (Genauigkeit $\pm 0,1\ \text{m}^2/\text{g}$).

Liquidität :

Anforderungen: $<25\ \text{s}/50\ \text{g}$ (Hall-Durchflussmesser, GB/T 1482-2010).

Bedeutung: Eine gute Fließfähigkeit gewährleistet die Gleichmäßigkeit des gepressten Blocks ($>95\%$) und reduziert die Porosität um $0,01\%$.

Beispiele :

YN6: Partikelgröße $11,5\ \mu\text{m}$, D50 $\sim 1,2\ \mu\text{m}$, Fluidität $\sim 20\ \text{s}/50\ \text{g}$ (ScienceDirect, 2020).

2.3 Mikroskopische Morphologie

Aussehen :

Anforderungen: Nahezu kugelförmig oder polyedrisch, Sphärizität $>0,9$ (SEM-Beobachtung, $1000\times$).

Vermeiden Sie: Stäbchen, Flocken oder unregelmäßige Partikel, die die Fließfähigkeit um $10\text{--}15\%$ reduzieren.

Oberflächenbeschaffenheit :

Glatt, ohne Risse, Poren oder Anhaftungen (REM-Untersuchung, $<0,1\ \mu\text{m}$ Defekt).

Oberflächenoxidschicht: $<10\ \text{nm}$ (XPS-Analyse), Sinterentkohlung vermeiden.

Wiedervereinigung :

Agglomerationsrate: $<1\%$. Ein zu hoher Wert führt zu einer ungleichmäßigen Mikrostruktur und erhöht die Porosität um $0,02\%$.

Testmethode: SEM (statistische Analyse des agglomerierten Partikelverhältnisses), Ultraschall-Dispersionsüberprüfung.

Beispiele :

YN10: Nahezu kugelförmiges Nickelpulver, Agglomerationsrate $<0,5\%$, Oberflächenoxidschicht $<5\ \text{nm}$ (Sandvik, 2023).

2.4 Sonstige Anforderungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Magnetische Eigenschaften :

Nickelpulver ist schwach magnetisch, mit einer Sättigungsmagnetisierung von ~55 emu/g (reines Ni) und einer Abweichung von $\leq \pm 5$ emu/g.

Prüfmethode: Vibrating-Proben-Magnetometer (VSM, Genauigkeit $\pm 0,1$ emu/g).

Bedeutung: Indirekte Beurteilung von Verunreinigungen (Fe-Magnetisierung) und Oxidationsgrad.

Lagerbedingungen :

Luftfeuchtigkeit: $< 40\%$, Temperatur: $2025\text{ }^{\circ}\text{C}$, Inertatmosphäre (Ar oder N_2), Oxidation vermeiden (O steigt um $0,02\%$).

Vakuumversiegelte Verpackung, Lagerdauer < 6 Monate.

S tandardion :

GB/T 53142011: Chemische Zusammensetzung (Reinheit $> 99,9\%$).

GB/T 183762014: Mikrostruktur (Agglomeration $< 1\%$).

GB/T 1482-2010: Fließfähigkeit (< 25 s/50 g).

Eigenschaften und Anforderungen für Nickelpulver

Merkmal	Erfordern	Testmethode	Beispiel (YN10)
Reinheit	$> 99,9\%$, Verunreinigungen $< 0,1\%$	ICPMS, Kohlenstoff- und Schwefelanalyse	$99,95\%$, Fe $< 0,005\%$
Sauerstoffgehalt	$< 0,05\%$	Sauerstoff- und Stickstoffanalysator	$< 0,03\%$
Kohlenstoffgehalt	$< 0,01\%$	Kohlenstoff- und Schwefelanalysator	$< 0,005\%$
Granularität	$0,52\text{ }\mu\text{m}$ (konventionell), $0,20,8\text{ }\mu\text{m}$ (ultrafeines Korn), D50-Abweichung $\leq \pm 10\%$	Laser-Partikelgrößenanalyse	$0,81,2\text{ }\mu\text{m}$, D50 $\sim 1,0\text{ }\mu\text{m}$
Spezifische Oberfläche	$15\text{ m}^2/\text{g}$	WETTE	$34\text{ m}^2/\text{g}$
Liquidität	< 25 s/50 g	Hall-Durchflussmesser	~ 18 s/50 g
Morphologie	Nahezu kugelförmig, Sphärizität $> 0,9$, Agglomeration $< 1\%$	SEM, XPS	Sphärizität $> 0,95$, Agglomeration $< 0,5\%$
Magnetische Eigenschaften	~ 55 emu/g, Abweichung $\leq \pm 5$ emu/g	VSM	54 ± 2 emu/g
Lagerbedingungen	Luftfeuchtigkeit $< 40\%$, Ar- / N_2 -Schutz, < 6 Monate		Vakuumversiegelt, Ar -geschützt

3. Herstellungsverfahren für Nickelpulver

Die Herstellung von Nickelpulver muss hohe Reinheit, feine Partikelgröße und gleichmäßige Morphologie gewährleisten, um die Anforderungen an Hartmetall zu erfüllen. Gängige Methoden sind:

3.1 Carbonylprozess

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Prinzip :

Nickel reagiert mit Kohlenmonoxid (CO) zu Nickelcarbonyl [Ni(CO)₄], das beim Erhitzen in hochreines Nickelpulver und CO zerfällt.

Reaktion: Ni + 4CO → Ni(CO)₄ (gasförmig, 5060 °C), Ni(CO)₄ → Ni + 4CO (Zersetzung, 200–250 °C).

Verfahren :

Rohstoffe: hochreines Nickel (>99,9 %), CO-Gas (Reinheit >99,99 %).

Ausrüstung: Carbonylreaktor (Druck 0,1–0,5 MPa), Zersetzungsofen (Vakuum oder Inertatmosphäre).

Parameter: Zersetzungstemperatur 200–300 °C, Luftdurchflussrate 0,51 l/min.

Klassifizierung: Sieb- oder Luftstromklassifizierung, kontrollierte Partikelgröße 0,52 μ m .

Merkmale :

Reinheit: >99,95 %, O <0,03 %, C <0,01 %.

Morphologie: Nahezu kugelförmig, Sphärizität > 0,95, Agglomerationsrate < 0,5 %.

Partikelgröße: 0,52 μ m , D50-Abweichung <±5%.

Vorteile :

Hohe Reinheit, Verunreinigungen (Fe, S) <0,005 %.

Die Morphologie ist regelmäßig und die Fließfähigkeit gut (~18 s/50 g).

unzureichend :

Die Ausrüstung ist komplex, CO ist hochgiftig und die Kosten sind 20–30 % höher.

Anwendung :

YN10-Teststab: Carbonylnickelpulver, Partikelgröße ~1 μ m , Härte 1500 HV (Sandvik, 2023).

3.2 Chemische Reduktion (Hydrometallurgische Reduktion)

Prinzip :

Nickelsalzlösung (z. B. NiSO₄, NiCl₂) wird durch ein Reduktionsmittel (z. B. H₂, NaBH₄) zu Nickelpulver reduziert.

Reaktion: Ni²⁺ + H₂ → Ni + 2H⁺ (Hochdruck-H₂, 150–200 °C).

Verfahren :

Rohstoffe: NiSO₄ (>99,9%), Reduktionsmittel (H₂-Reinheit >99,99%).

Ausstattung: Hochdruckreaktor (510 MPa), Filtrations-/Trocknungssystem.

Parameter: pH 810, Temperatur 150–200 °C, H₂-Druck 25 MPa.

Nachbehandlung: Waschen (deionisiertes Wasser), Vakuumtrocknen (80°C, <10⁻² Pa) .

Merkmale :

Reinheit: >99,9 %, O <0,05 %, Fe <0,01 %.

Morphologie: Polyeder oder nahezu kugelförmig, Sphärizität 0,80,9.

Partikelgröße: 0,53 μ m , D50 - Abweichung <±10 %.

Vorteile :

Niedrigere Kosten (1520 % niedriger als das Carbonylverfahren).

Geeignet für die Massenproduktion, mit einstellbarer Partikelgröße.

unzureichend :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Morphologie ist leicht unregelmäßig und die Agglomerationsrate beträgt 12 %.
Der Sauerstoffgehalt ist etwas hoch (0,050,1 %) und muss streng kontrolliert werden.

Anwendung :

YN6-Teststab: reduziertes Nickelpulver, Partikelgröße 1,5 μm , Biegefestigkeit 1,8 GPa (ScienceDirect, 2020).

3.3 Zerstäubung

Prinzip :

Geschmolzenes Nickel (>99,9 %) wird durch Hochdruckgas (N₂, Ar) oder Wasser in feine Partikel zerstäubt.

Verfahren :

Rohstoff: hochreiner Nickelbarren (>99,9 %).

Ausrüstung: Vakuum-Induktionsofen (1450–1500 °C), Zerstäubungsturm (Gasdruck 510 MPa).

Parameter: Düsenöffnung 0,51 mm, Abkühlrate 10^3 10^4 °C/s.

Klassifizierung: Luftstromklassifizierung, Partikelgröße 15 μm .

Merkmale :

Reinheit: >99,9 %, O <0,08 %, C <0,02 %.

Morphologie: kugelförmig, Sphärizität > 0,9.

Partikelgröße: 15 μm , D50-Abweichung $\leq \pm 15\%$.

Vorteile :

Regelmäßige Morphologie und ausgezeichnete Fließfähigkeit (~20 s/50 g).

Geeignet für Nickelpulver mit großen Partikeln (>2 μm) .

unzureichend :

Die Partikelgröße ist zu groß (>1 μm) , was für ultrafeinkörnige Legierungen nicht geeignet ist.

Der Sauerstoffgehalt ist hoch (0,050,1 %).

Anwendung :

Großer YN15-Teststab: zerstäubtes Nickelpulver, Partikelgröße 23 μm , KIC 10 MPa·m^{1/2} .

3.4 Galvanische Abscheidung

Prinzip :

Nickelsalzlösung (z. B. NiSO₄) wird durch elektrolytische Abscheidung von Nickelpulver hergestellt.

Reaktion: $\text{Ni}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Ni}$ (Kathode, Stromdichte 100500 A/ m²) .

Verfahren :

Rohstoffe: NiSO₄ (>99,9 %), Elektrolyt (pH 35).

Ausstattung: Elektrolysezelle (Kathode aus Edelstahl), Konstantstromversorgung.

Parameter: Temperatur 5060°C, Stromdichte 200400 A/m² , Zeit 24 Stunden.

Nachbehandlung: Waschen, Trocknen (80°C, <10⁻² Pa) , Mahlen (<2 μm) .

Merkmale :

Reinheit: >99,9 %, O <0,1 %, Fe <0,02 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Morphologie: dendritisch oder unregelmäßig, muss geschliffen werden.

Partikelgröße: 110 µm (0,52 µm nach dem Mahlen) .

Vorteile :

30 % niedriger als beim Carbonylverfahren) .

Geeignet für die Großserienproduktion.

unzureichend :

Die Morphologie ist unregelmäßig und durch das Mahlen verstärkt sich die Agglomeration (23 %).

Der Sauerstoffgehalt ist hoch (0,10,2 %) und muss optimiert werden.

Anwendung :

Preiswerter YN6-Prüfstab: Elektrolytisches Nickelpulver, Partikelgröße 12 µ m , Härte 1400 HV.

3.5 Optimierungsmaßnahmen

Reduzieren Sie den Sauerstoffgehalt :

Inertatmosphäre (Ar , O2 <0,005 %), Sauerstoff wird auf <0,03 % reduziert.

Vakuum (<10⁻² Pa), um Oxidation zu vermeiden.

Kontrollgranularität :

Nach der Ultraschalldispersion (500 W, 10 min) reduzierte sich die Agglomerationsrate auf <0,5 %.

Luftstromklassifizierung (Genauigkeit ±0,1 µm) , D50 - Abweichung <±5 %.

Erscheinungsbild verbessern :

Carbonylmethode + Plasmasphäroidisierung, die Sphärizität wurde auf >0,95 erhöht.

Chemisches Reduktionsverfahren plus Oberflächenmodifizierung (Stearinsäure 0,1 %),

Fließfähigkeit um 10 % erhöht.

Beispiele :

YN10: Carbonylnickelpulver + Ultraschalldispersion, Partikelgröße 0,8 µm , Agglomeration <0,3 % (Sandvik, 2023).

Methoden zur Herstellung von Nickelpulver

Verfahren	Reinheit	Partikelgröße (µm)	Morphologie	Sauerstoffgehalt	Fließfähigkeit (s/50 g)	Kosten	Anwendbare Klassen
Carbonyl-Methode	>99,95 %	0,52	Fast sphärisch, >0,95	<0,03 %	~18	Hoch	Yn10, yn8n
Chemische Reduktionsmethode	>99,9 %	0,53	Polyeder, 0,80,9	<0,05 %	~20	Mitte	Yn6
Zerstäubung	>99,9 %	15	Sphärisch, >0,9	<0,08 %	~20	Mittel bis hoch	Yn15
Elektrolyse	>99,9 %	0,52 (Schleifen)	Unregelmäßig, 0,60,8	<0,1 %	~25	Niedrig	Yn6

4. Anwendung von Nickelpulver in Nickel-Basis-Hartmetall

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Verwendung von Nickelpulver wirkt sich direkt auf die Herstellung und Leistung von Prüfstäben aus nickelbasiertem Hartmetall aus. Nachfolgend finden Sie eine Beschreibung der spezifischen Qualitäten und Verfahren.

4.1 YN6 (6 % Ni, allgemein korrosionsbeständiges Werkzeug)

Anforderungen an Nickelpulver :

Reinheit: >99,95 %, O <0,03 %, Fe <0,005 %.

Partikelgröße: 11,5 μm , D50 ~1,2 μm , Sphärizität >0,9.

Herstellung: Carbonylmethode, Fließfähigkeit ~20 s/50 g.

Zubereitung :

Inhaltsstoffe : WC (94 Gew.- % , 12 μm) , Ni (6 Gew.- %) , Cr₃C₂ (0,3 Gew.- %).

Compoundierung : Nassmahlen (12–14 h, PEG 1,5 %), D50 80–150 μm .

Pressen : CIP (200–250 MPa), Knüppel 6,2 × 6,2 × 43 mm.

Sintern : Vakuumsintern (1400 °C, <10⁻³ Pa) + HIP (1400 °C, 100 MPa).

Bearbeitung : Schleifen (Ra <0,4 μm) , Funkenkerben (0,25 ± 0,02 mm).

Leistung :

Härte: 1400 ± 50 HV (GB/T 79972017).

Biegefestigkeit: 1,8 ± 0,1 GPa (GB/T 38512015).

Bruchzähigkeit: 7 ± 0,5 MPa·m^{1/2}.

Korrosionsbeständigkeit: 0,01 mm/Jahr (5 % HCl, GB/T 43342020).

Beispiele :

YN6-Teststab: Carbonylnickelpulver, Korngröße ~1,2 μm , Schnittlebensdauer 2,5 Stunden (Sandvik, 2023).

4.2 YN10 (10 % Ni, chemische Form)

Anforderungen an Nickelpulver :

Reinheit: >99,95 %, O <0,03 %, C <0,01 %.

Partikelgröße: 0,81,2 μm , D50 ~1,0 μm , Agglomeration <0,5 %.

Herstellung: Carbonylmethode + Ultraschalldispersion, Fließfähigkeit ~18 s/50 g.

Zubereitung :

Inhaltsstoffe : WC (90 Gew.- % , 0,51,5 μm) , Ni (10 Gew.- %) , VC (0,2 Gew.- %).

Mischen : Hochenergie-Kugelmahlen (16 h, PEG 1 %), D50 50100 μm .

Pressen : CIP (250–300 MPa), Knüppel 5,0 × 10,0 × 40 mm.

Sintern : Vakuumsintern (1380 °C, <5 × 10⁻⁴ Pa) + HIP (1380 °C, 120 MPa).

Bearbeitung : Ultrapräzisionsschleifen (Ra <0,2 μm) , Femtosekundenlaserkerbe (0,25 ± 0,01 mm).

Leistung :

Härte: 1500 ± 50 HV.

Biegefestigkeit: 2,0 ± 0,1 GPa .

Bruchzähigkeit: 9 ± 0,5 MPa·m^{1/2}.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Korrosionsbeständigkeit: <0,005 mm/Jahr (5 % HCl).

Beispiele :

YN10-Teststab: Carbonylnickelpulver, Korrosionsbeständigkeit 100.000-mal (ScienceDirect, 2020).

4.3 Ultrafeinkörniges YN8N (8 % Ni, Luftfahrtwerkzeuge)

Anforderungen an Nickelpulver :

Reinheit: >99,95 %, O <0,02 %, Fe <0,005 %.

Partikelgröße: 0,20,8 μ m , D50 ~0,5 μ m , Sphärizität >0,95.

Herstellung: Carbonylmethode + Plasmasphäroidisierung, Fluidität ~15 s/50 g.

Zubereitung :

Inhaltsstoffe : WC (91,5 Gew.- %, 0,20,4 μ m) , Ni (8 Gew.- %), Cr₃C₂ (0,4 Gew.- %) , VC (0,1 Gew.- %).

Mischen : Hochenergie-Kugelmahlen (1820 h, modifiziertes PEG 1 %), D50 30100 μ m .

Pressen : CIP (300–350 MPa), Block 6,3 × 6,3 × 44 mm.

Sintern : Vakuumsintern (1350 °C, <5×10⁻⁴ Pa) + HIP (1350 °C, 150 MPa).

Bearbeitung : Ultrapräzisionsschleifen (Ra <0,2 μ m) , Femtosekundenlaserkerbe (0,25 ± 0,005 mm).

Leistung :

Härte: 1800 ± 50 HV.

Biegefestigkeit: 2,2 ± 0,1 GPa .

Bruchzähigkeit: 8 ± 0,5 MPa·m^{1/2} .

Korrosionsbeständigkeit: <0,003 mm/Jahr.

Beispiele :

YN8N-Teststab: Carbonylnickelpulver, Korngröße <0,5 μ m , Lebensdauer des Luftfahrtwerkzeugs 4 Stunden (Sandvik, 2023).

Nickelbasierte Hartmetallsorten und Nickelpulveranwendungen

Marke	Nickelgehalt	Nickelpulvertyp	Partikelgröße (μ m)	Kernpunkte der Technologie	Leistung	Anwendung
YN6	6%	Carbonyl-Methode	11.5	1400°C gesintert, geschliffen Ra <0,4 μ m	Härte 1400 HV, Festigkeit 1,8 GPa , Korrosion 0,01 mm/Jahr	Korrosionsbeständige Werkzeugstandzeit 2,5 Stunden
YN10	10%	Carbonyl-Methode	0,81,2	1380°C Femtosekundenlaserkerbung	HIP, KIC 9 MPa·m ^{1/2} , Korrosion <0,005 mm/Jahr	Chemischer Schimmel, Lebensdauer 100.000 Mal
YN8	8%	Carbonyl + Sphäroidisierung	0,20,8	Gesintert bei 1350°C, Korngröße <0,5 μ m	Härte 1800 HV, Festigkeit 2,2 GPa , Korrosion <0,003	Luftfahrtwerkzeug, Lebensdauer 4 Stunden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Marke	Nickelgehalt	Nickelpulvertyp	Partikelgröße (μm)	Kernpunkte der Technologie	Leistung	Anwendung
					mm/Jahr	

5. Schlüsselfaktoren für die Auswahl von Nickelpulver

Die Auswahl des Nickelpulvers erfordert eine umfassende Berücksichtigung der Legierungseigenschaften, der Prozessbedingungen und der Kosten:

Hohe Korrosionsbeständigkeit (wie YN10):

Wahl ist Carbonylnickelpulver mit einer Reinheit von >99,95 %, einer Partikelgröße von 0,81,2 μm und O <0,03 %.

Grund: Regelmäßige Morphologie und niedriger Sauerstoffgehalt sorgen dafür, dass die η-Phase <0,5 % und die Korrosionsrate <0,005 mm/Jahr beträgt.

Ultrafeinkörnige Legierungen (wie YN8N):

Es wurde die Carbonylmethode + Plasmasphäroidisierung verwendet, die Partikelgröße betrug 0,20,8 μm und die Sphärizität war >0,95.

Grund: Feine Korngröße Kontrollkorn <0,5 μm, Härte um 510 % erhöht.

Kostenempfindlich (wie YN6):

ein chemisches Reduktions- oder Elektrolyseverfahren, Partikelgröße 12 μm, O <0,05 %.

Grund: 2030 % niedrigere Kosten und erfüllt allgemeine Werkzeuganforderungen (Festigkeit 1,8 GPa).

Großer Prüfstab (z. B. YN15):

Als Zerstäubungsmethode wurde eine Partikelgröße von 23 μm und eine Fluidität von ~20 s/50 g gewählt.

Grund: Geeignet für große Partikel, Kompressionsgleichmäßigkeit >95 %.

Auswahl und Anwendungsszenarien von Nickelpulver

Anwendungsszenario	Empfohlenes Nickelpulver	Partikelgröße (μm)	Hauptmerkmale	Leistungsverbesserungen
Hohe Korrosionsbeständigkeit (YN10)	Carbonyl-Methode	0,81,2	Reinheit > 99,95 %, O < 0,03 %	Korrosionsrate <0,005 mm/Jahr, η-Phase <0,5 %
Ultrafeine Körnung (YN8N)	Carbonyl + Sphäroidisierung	0,20,8	Sphärizität > 0,95, Agglomeration < 0,5 %	Härte um 510 % erhöht, Korngröße <0,5 μm
Kostensensitiv (YN 6)	Chemische Reduktion/Elektrolyse	12	Reinheit >99,9 %, Kosten 20–30 % niedriger	Festigkeit 1,8 GPa, erfüllt allgemeine Anforderungen
Große Größe (YN15)	Zerstäubung	dreiundzwanzig	Fließfähigkeit ~20 s/50 g	Homogenität >95 %, KIC 10 MPa·m ^{1/2}

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Fazit

Nickelpulver, das in Hartmetall auf Nickelbasis verwendet wird, muss die folgenden Anforderungen erfüllen:

Chemische Zusammensetzung : Reinheit > 99,9 %, O < 0,05 %, Fe < 0,01 %, C < 0,01 % (GB/T 53142011).

Physikalische Eigenschaften : Partikelgröße 0,52 μm (konventionell) oder 0,20,8 μm (ultrafeines Korn) , Fließfähigkeit <25 s/50 g (GB/T 1482-2010).

Mikromorphologie : Nahezu kugelförmig, Sphärizität > 0,9, Agglomeration < 1 % (GB/T 183762014).

Zubereitung :

Carbonylmethode : hohe Reinheit (> 99,95 %) , Partikelgröße 0,52 μm , geeignet für YN10 und YN8N.

Chemisches Reduktionsverfahren : kostengünstig , Partikelgröße 0,53 μm , geeignet für YN6.

Zerstäubungsmethode : große Partikel (15 μm) , geeignet für große Prüfstäbe.

Elektrolytisches Verfahren : kostengünstig, erfordert Schleifen, für allgemeine Güten geeignet.

Anwendungsbeispiele :

YN6: Carbonylnickelpulver (11,5 μm) , Härte 1400 HV, Festigkeit 1,8 GPa .

YN10: Carbonylnickelpulver (0,81,2 μm) , KIC 9 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, Korrosionsbeständigkeit <0,005 mm/Jahr.

YN8N: Carbonyl + sphäroidisiertes Nickelpulver (0,20,8 μm) , Härte 1800 HV, Korngröße <0,5 μm .

von Nickelpulver (z. B. Ultraschalldispersion und Inertschutz) kann die Gleichmäßigkeit um 20 % verbessern, die η -Phase um 50 % reduzieren und die Konsistenz der Legierungsleistung verbessern (Abweichung < 3 %). In Zukunft werden Nano-Nickelpulver (< 0,2 μm) und umweltfreundliche Herstellungstechnologien (z. B. Niedertemperaturreduktion) die Leistung von Hartmetall auf Nickelbasis weiter verbessern.

Standard :

GB/T 5314 2011: Chemische Zusammensetzung.

GB/T 18376 2014: Mikrostruktur.

GB/T 1482 2010: Liquidität.

GB/T 3851 2015: Biegefestigkeit.

GB/T 7997 2017: Härte.

GB/T 4334 2020: Korrosionsbeständigkeit.

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 :

Kobaltpulver für kobaltbasiertes Hartmetall

Kobaltbasiertes Hartmetall (CobaltBonded Cemented Carbide) verwendet Kobalt (Co) als Bindephase und verbindet harte Phasen wie Wolframkarbid (WC). Es wird aufgrund seiner hervorragenden Biegefestigkeit (1,5–2,5 GPa), Bruchzähigkeit (812 MPa·m²) und Härte (1400–2200 HV) häufig in Schneidwerkzeugen, Formen, Bergbauwerkzeugen und anderen Bereichen eingesetzt. Als wichtiger Rohstoff für kobaltbasiertes Hartmetall beeinflusst die Qualität des Kobaltpulvers direkt die Mikrostruktur, die mechanischen Eigenschaften und die Verarbeitungseigenschaften der Legierung. Im Folgenden werden die Eigenschaften, Anforderungen, Herstellungsmethoden und Anwendungen von Kobaltpulver, das in kobaltbasiertem Hartmetall verwendet wird, detailliert beschrieben, kombiniert mit chinesischen nationalen Standards (wie GB/T 5243, GB/T 5314), internationalen Standards (wie ISO 4499) und den neuesten Forschungsergebnissen (wie Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2020), alles auf Chinesisch, um sicherzustellen, dass der Inhalt genau, detailliert und faszinierend ist.

1. Übersicht

Kobaltbasiertes Hartmetall verwendet Kobalt als Bindephase. Typische Sorten sind YG6 (6 % Co, Schneidwerkzeuge), YG15 (15 % Co, Formen) und YG8N (8 % Co, ultrafeinkörnige Schneidwerkzeuge für die Luftfahrt). Die Funktionen von Kobaltpulver in der Legierung umfassen:
Bindende Hartphase : Stärkt die Bindung der WC-Partikel und erhöht die Biegefestigkeit um 20–30 %.

Verbesserte Zähigkeit : Durch die Duktilität der Kobaltphase kann KIC 812 MPa·m^{1/2} erreichen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sinteraktivität : Der niedrige Schmelzpunkt von Kobalt (1495 °C) fördert das Sintern in der Flüssigphase und reduziert die Porosität auf <0,01 % .

von Kobaltpulver (Reinheit, Partikelgröße, Morphologie, Sauerstoffgehalt) wirkt sich direkt aus auf:

Mikrostruktur : Korngröße 0,52 µm (konventionell) oder <0,5 µm (ultrafeines Korn) , η-Phase/freier Kohlenstoff <1 % (GB/T 183762014).

Mechanische Eigenschaften : Härte 1400–2200 HV, Biegefestigkeitsabweichung < 5 % (GB/T 3851–2015).

Prozessstabilität : **Mischungsgleichmäßigkeit** > 95 % , Grünfestigkeit des Rohlings > 6 MPa.

Im Folgenden finden Sie eine ausführliche Erläuterung von Kobaltpulver aus vier Blickwinkeln: Eigenschaften, Anforderungen, Herstellungsverfahren und praktische Anwendungen.

2. Eigenschaften und Anforderungen an Kobaltpulver

Bei Hartmetall auf Kobaltbasis werden strenge Anforderungen an das Kobaltpulver gestellt , das den Standards hinsichtlich chemischer Zusammensetzung, physikalischer Eigenschaften und Mikromorphologie entsprechen muss, um die gleichbleibende Leistung der Legierung sicherzustellen.

2.1 Chemische Zusammensetzung

Reinheit :

Anforderungen: >99,9 % (Massenanteil), Gesamtverunreinigungsgehalt <0,1 % (GB/T 53142011).

Hauptverunreinigungen:

Sauerstoff (O): <0,05 % , hoher Sauerstoffgehalt führt zur Entkohlung (η-Phase, Co₃W₃C) und die Härte nimmt um 510 % ab.

Kohlenstoff (C): <0,01 % , vermeiden Sie freien Kohlenstoff (>1 % reduziert die Festigkeit um 10 %).

Eisen (Fe): <0,01 % . Das Risiko von Mikrorissen durch Fe-Verunreinigungen erhöht sich um 1015 %.

Schwefel (S), Phosphor (P): jeweils <0,005 % , Phase mit niedrigem Schmelzpunkt vermeiden (Sprödigkeit steigt um 1520 %).

Nickel (Ni): <0,05 % . Ein zu hoher Ni-Gehalt verändert die magnetischen Eigenschaften und beeinträchtigt den Kobalt-Magnetttest (GB/T 3849-2015).

Testmethode:

ICPMS: Erkennung von Metallen wie Co, Fe, Ni (Genauigkeit ±0,001 %).

Kohlenstoff- und Schwefelanalysator: Erkennung von C und S (Genauigkeit ±0,001 %).

Sauerstoff- und Stickstoffanalysator: O erkennen (Genauigkeit ±0,01 %).

Beispiele :

YG8N: Kobaltpulverreinheit 99,95 % , O <0,03 % , Fe <0,005 % (Sandvik, 2023).

2.2 Physikalische Eigenschaften

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Granularität:

Bereich: 0,52 μm (konventionell), 0,20,8 μm (Ultrafeinkörnige Legierung).

Gleichmäßigkeit: D50-Abweichung $<\pm 10\%$, D90/D10 <3 , wodurch eine Mischgleichmäßigkeit von $>95\%$ gewährleistet wird.

Bedeutung:

Eine feine Partikelgröße ($<1\ \mu\text{m}$) verbessert die Gleichmäßigkeit der Bindungsphasenverteilung und erhöht die Festigkeit um 1015%.

Zu feine Partikel ($<0,2\ \mu\text{m}$) neigen leicht zur Agglomeration und die Gleichmäßigkeit verringert sich um 510%.

Prüfmethode: Laser-Partikelgrößenanalysator (Genauigkeit $\pm 0,01\ \mu\text{m}$, GB/T 19077).

Spezifische Oberfläche :

Reichweite: 13 m^2/g (konventionell), 36 m^2/g (Nanopulver).

Bedeutung: Eine hohe spezifische Oberfläche verbessert die Sinteraktivität und reduziert die Sintertemperatur in der Flüssigphase um 2030 $^{\circ}\text{C}$.

Prüfmethode: BET-Methode (Genauigkeit $\pm 0,1\ \text{m}^2/\text{g}$).

Liquidität :

Anforderungen: $<25\ \text{s}/50\ \text{g}$ (Hall-Durchflussmesser, GB/T 1482-2010).

Bedeutung: Eine gute Fließfähigkeit gewährleistet die Gleichmäßigkeit des gepressten Knüttels ($>95\%$) und reduziert die Porosität um 0,01%.

Schüttdichte :

Bereich: 1,5–2,5 g/cm^3 (konventionell), 1,0–2,0 g/cm^3 (ultrafeines Korn).

Bedeutung: Eine hohe Rohdichte verbessert die Grünfestigkeit des Barrens ($>6\ \text{MPa}$).

Prüfmethode: Trichtermethode (Genauigkeit $\pm 0,01\ \text{g}/\text{cm}^3$).

Beispiele :

YG6: Partikelgröße 11,5 μm , D50 $\sim 1,2\ \mu\text{m}$, Fließfähigkeit $\sim 20\ \text{s}/50\ \text{g}$, BET $\sim 2\ \text{m}^2/\text{g}$ (ScienceDirect, 2020).

2.3 Mikroskopische Morphologie

Aussehen :

Anforderungen: Nahezu kugelförmig oder polyedrisch, Sphärizität $>0,9$ (SEM-Beobachtung, 1000 \times).

Vermeiden Sie: Stäbchen, Flocken oder unregelmäßige Partikel, die die Fließfähigkeit um 10–15% reduzieren.

Oberflächenbeschaffenheit :

Glatt, ohne Risse, Poren oder Anhaftungen (REM-Untersuchung, $<0,1\ \mu\text{m}$ Defekt).

Oberflächenoxidschicht: $<10\ \text{nm}$ (XPS-Analyse), Sinterentkohlung vermeiden.

Wiedervereinigung :

Agglomerationsrate: $<1\%$. Ein zu hoher Wert führt zu einer ungleichmäßigen Mikrostruktur und erhöht die Porosität um 0,02%.

Testmethode: SEM (statistische Analyse des agglomerierten Partikelverhältnisses), Ultraschall-Dispersionsüberprüfung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beispiele :

YG8N: Nahezu kugelförmiges Kobaltpulver, Agglomerationsrate <0,5 %, Oberflächenoxidschicht <5 nm (Sandvik, 2023).

2.4 Sonstige Anforderungen

Magnetische Eigenschaften :

Kobaltpulver ist ferromagnetisch, mit einer Sättigungsmagnetisierung von ~160 emu/g (reines Co) und einer Abweichung von <±5 emu/g.

Prüfmethode: Vibrating-Proben-Magnetometer (VSM, Genauigkeit ±0,1 emu/g).

Bedeutung: Indirekte Beurteilung von Verunreinigungen (Fe erhöht die Magnetisierung, Ni verringert die Magnetisierung) und Oxidationsgrad.

Lagerbedingungen :

Luftfeuchtigkeit: <40 %, Temperatur: 2025 °C, Inertatmosphäre (Ar oder N2), Oxidation vermeiden (O steigt um 0,02 %).

Vakuumversiegelte Verpackung, Lagerdauer < 6 Monate.

S tandition :

GB/T 53142011: Chemische Zusammensetzung (Reinheit > 99,9 %).

GB/T 183762014: Mikrostruktur (Agglomeration <1 %).

GB/T 1482-2010: Fließfähigkeit (<25 s/50 g).

GB/T 3849-2015: Magnetische Eigenschaften (indirekte Beurteilung des Kohlenstoffgehalts).

2.5 Wichtige Parameter von Kobaltpulver

Parameter	Allgemeine Anforderungen	Ultrafeinkornanforderungen	Testmethode	Beispiel (yg8n)
Reinheit	>99,9 %	>99,95 %	ICPMS , Kohlenstoff- und Schwefelanalyse	99,95 %
Sauerstoffgehalt	<0,05 %	<0,03 %	Sauerstoff- und Stickstoffanalysator	<0,03 %
Eisengehalt	<0,01 %	<0,005 %	ICPMs	<0,005 %
Partikelgröße (d50)	0,52 µm	0,20,8 µm	Laser-Partikelgrößenanalyse	~0,5 µm
Spezifische Oberfläche	13 m² / g	36 m² / g	Wette	~4 m² / g
Liquidität	<25 s/50 g	<20 s/50 g	Hall-Durchflussmesser	~15 s/50 g
Morphologie	Fast kugelförmig, Sphärizität >0,9	Fast sphärisch, Sphärizität >0,95	Sem	Sphärizität > 0,95
Wiedervereinigungsrate	<1 %	<0,5 %	Sem, Ultraschalldispersion	<0,3 %
Magnetisierung	~160 emu/g, Abweichung <±5 emu/g	~160 emu/g, Abweichung <±3 emu/g	Vsm	~158 Emu/g

GB/T 53142011 (chemische Zusammensetzung), GB/T 183762014 (Mikrostruktur), GB/T 14822010 (Fließfähigkeit)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Herstellungsverfahren für Kobaltpulver

Die Herstellung von Kobaltpulver muss hohe Reinheit, feine Partikelgröße und gleichmäßige Morphologie gewährleisten, um die Anforderungen an Hartmetall zu erfüllen. Gängige Methoden sind:

3.1 Chemische Reduktion (Hydrometallurgische Reduktion)

Prinzip :

Kobaltsalzlösung (z. B. CoSO_4 , CoCl_2) wird durch ein Reduktionsmittel (z. B. H_2 , NaBH_4) zu Kobaltpulver reduziert.

Reaktion: $\text{Co}^{2+} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Co} + 2\text{H}^+$ (Hochdruck- H_2 , 150–200 °C).

Verfahren :

Rohstoffe: CoSO_4 (>99,9%), Reduktionsmittel (H_2 -Reinheit >99,99%).

Ausstattung: Hochdruckreaktor (510 MPa), Filtrations-/Trocknungssystem.

Parameter: pH 8,10, Temperatur 150–200 °C, H_2 -Druck 25 MPa.

Nachbehandlung: Waschen (deionisiertes Wasser), Vakuumtrocknen (80°C, $<10^{-2}$ Pa).

Klassifizierung: Luftstromklassifizierung, kontrollierte Partikelgröße 0,52 μm .

Merkmale :

Reinheit: >99,9 %, O <0,05 %, Fe <0,01 %.

Morphologie: Polyeder oder nahezu kugelförmig, Sphärizität 0,80,9.

Partikelgröße: 0,53 μm , D50 - Abweichung $\leq \pm 10$ %.

Vorteile :

Niedrigere Kosten (1520 % niedriger als das Carbonylverfahren).

Geeignet für die Massenproduktion, mit einstellbarer Partikelgröße.

unzureichend :

Die Morphologie ist leicht unregelmäßig und die Agglomerationsrate beträgt 12 %.

Der Sauerstoffgehalt ist etwas hoch (0,050,1 %) und muss streng kontrolliert werden.

Anwendung :

- Teststab: reduziertes Kobaltpulver, Partikelgröße 1,5 μm , Biegefestigkeit 2,0 GPa (ScienceDirect, 2020).

3.2 Carbonylprozess

Prinzip :

Kobalt reagiert mit Kohlenmonoxid (CO) zu Kobaltcarbonyl [$\text{Co}_2(\text{CO})_8$], das beim Erhitzen in hochreines Kobaltpulver und CO zerfällt.

Reaktion: $2\text{Co} + 8\text{CO} \rightarrow \text{Co}_2(\text{CO})_8$ (gasförmig, 100–150 °C), $\text{Co}_2(\text{CO})_8 \rightarrow 2\text{Co} + 8\text{CO}$ (Zersetzung, 250–300 °C).

Verfahren :

Rohstoffe: hochreines Kobalt (> 99,9 %), CO-Gas (Reinheit > 99,99 %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ausrüstung: Carbonylreaktor (Druck 0,51 MPa), Zersetzungsofen (Vakuum oder Inertatmosphäre).

Parameter: Zersetzungstemperatur 250–350 °C, Luftdurchflussrate 0,51 l/min.

Klassifizierung: Sieb- oder Luftstromklassifizierung, kontrollierte Partikelgröße 0,52 µm .

Merkmale :

Reinheit: >99,95 %, O <0,03 %, C <0,01 %.

Morphologie: Nahezu kugelförmig, Sphärizität > 0,95, Agglomerationsrate < 0,5 %.

Partikelgröße: 0,52 µm , D50-Abweichung <±5%.

Vorteile :

Hohe Reinheit, Verunreinigungen (Fe, S) <0,005 %.

Die Morphologie ist regelmäßig und die Fließfähigkeit gut (~18 s/50 g).

Unzureichend :

Die Ausrüstung ist komplex, CO ist hochgiftig und die Kosten sind 20–30 % höher.

Anwendung :

YG8N-Teststab: Carbonylkobaltpulver, Partikelgröße ~0,8 µm , Härte 2000 HV (Sandvik, 2023).

3.3 Zerstäubung

Prinzip :

Geschmolzenes Kobalt (>99,9 %) wird durch Hochdruckgas (N₂, Ar) oder Wasser in feine Partikel zerstäubt.

Verfahren :

Rohstoff: hochreiner Kobaltbarren (>99,9 %).

Ausrüstung: Vakuum-Induktionsofen (1500–1550 °C), Zerstäubungsturm (Gasdruck 510 MPa).

Parameter: Düsenöffnung 0,51 mm, Abkühlrate $10^3 \cdot 10^4$ °C/s.

Klassifizierung: Luftstromklassifizierung, Partikelgröße 15 µm .

Merkmale :

Reinheit: >99,9 %, O <0,08 %, C <0,02 %.

Morphologie: kugelförmig, Sphärizität > 0,9.

Partikelgröße: 15 µm , D50-Abweichung <±15%.

Vorteile :

Regelmäßige Morphologie und ausgezeichnete Fließfähigkeit (~20 s/50 g).

Geeignet für Kobaltpulver mit großen Partikeln (>2 µm) .

Unzureichend :

Die Partikelgröße ist zu groß (>1 µm) , was für ultrafeinkörnige Legierungen nicht geeignet ist.

Der Sauerstoffgehalt ist hoch (0,050,1 %).

Anwendung :

Prüfstab YG15: zerstäubtes Kobaltpulver, Partikelgröße 23 µm , KIC 12 MPa·m^{1/2} .

3.4 Galvanische Abscheidung

Prinzip :

Kobaltpulver wird durch elektrolytische Abscheidung einer Kobaltsalzlösung (z. B. CoSO₄)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hergestellt.

Reaktion: $\text{Co}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Co}$ (Kathode, Stromdichte 100500 A/ m²).

Verfahren :

Rohstoffe: CoSO₄ (>99,9 %), Elektrolyt (pH 35).

Ausstattung: Elektrolysezelle (Kathode aus Edelstahl), Konstantstromversorgung.

Parameter: Temperatur 5060°C, Stromdichte 200400 A/m² , Zeit 24 Stunden.

Nachbehandlung: Waschen, Trocknen (80°C, <10⁻² Pa) , Mahlen (<2 μ m) .

Merkmale :

Reinheit: >99,9 % , O <0,1 % , Fe <0,02 %.

Morphologie: dendritisch oder unregelmäßig, muss geschliffen werden.

Partikelgröße: 110 μm (0,52 μm nach dem Mahlen) .

Vorteile :

Niedrige Kosten (30 % niedriger als das Carbonylverfahren).

Geeignet für die Großserienproduktion.

unzureichend :

Die Morphologie ist unregelmäßig und durch das Mahlen verstärkt sich die Agglomeration (23 %).

Der Sauerstoffgehalt ist hoch (0,10,2 %) und muss optimiert werden.

Anwendung :

Prüfstab YG6: Elektrolytisches Kobaltpulver, Partikelgröße 12 μ m , Härte 1500 HV.

3.5 Optimierungsmaßnahmen

Reduzieren Sie den Sauerstoffgehalt :

durch Inertatmosphäre (Ar , O₂ <0,005 %), Sauerstoff auf <0,03 % reduziert.

Vakuum (<10⁻² Pa), um Oxidation zu vermeiden.

Kontrollgranularität :

Durch Ultraschalldispersion (500 W, 10 min) wurde die Agglomerationsrate auf <0,5 % reduziert.

Luftstromklassifizierung (Genauigkeit ±0,1 μ m) , D50 - Abweichung <±5 %.

Erscheinungsbild verbessern :

Carbonylmethode + Plasmasphäroidisierung, die Sphärizität wurde auf >0,95 erhöht.

Chemisches Reduktionsverfahren plus Oberflächenmodifizierung (Stearinsäure 0,1 %),

Fließfähigkeit um 10 % erhöht.

Beispiele :

YG8N: Carbonylkobaltpulver + Ultraschalldispersion, Partikelgröße 0,5 μ m , Agglomeration <0,3 % (Sandvik, 2023).

Vergleichstabelle der Herstellungsmethoden für Kobaltpulver

Verfahren	Reinheit	Partikelgröße (μ m)	Morphologie	Sauerstoffgehalt	Fließfähigkeit (s/50 g)	kosten	Anwendbare Klassen
Chemische Reduktionsmethode	>99,9 %	0,53	Polyeder, 0,80,9	<0,05 %	~22	Mitte	YG6, YG15
Carbonyl-Methode	>99,95 %	0,52	Fast sphärisch, >0,95	<0,03 %	~18	hoch	Y8N

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verfahren	Reinheit	Partikelgröße (μm)	Morphologie	Sauerstoffgehalt	Fließfähigkeit (s/50 g)	kosten	Anwendbare Klassen
Zerstäubung	>99,9 %	15	Sphärisch, >0,9	<0,08 %	~20	Mitte	YG15 (große Größe)
Elektrolyse	>99,9 %	0,52 (Schleifen)	Unregelmäßig, 0,70,8	<0,1 %	~25	Niedrig	YG6 (niedrige Kosten)

Optimierungsmaßnahmen :

Sauerstoffgehalt reduzieren : Ar -Schutz (O₂ <0,005%), Vakuumtrocknung (<10⁻² Pa).

Partikelgrößenkontrolle : Ultraschalldispersion (500 W, 10 Min.), Agglomerationsrate <0,5 %.

Morphologieoptimierung : Carbonylmethode + Plasmasphäroidisierung, Sphärizität > 0,95 .

4. Anwendung von Kobaltpulver in kobaltbasiertem Hartmetall

Die Auswahl und Optimierung des Kobaltpulvers wirkt sich direkt auf die Herstellung und Leistung von kobaltbasierten Hartmetallprüfstäben aus. Im Folgenden werden die spezifischen Qualitäten und Verfahren beschrieben.

4.1 YG6 (6 % Co, Allzweckwerkzeug)

Anforderungen an Kobaltpulver :

Reinheit: >99,95 %, O <0,03 %, Fe <0,005 %.

Partikelgröße: 11,5 μm , D50 ~1,2 μm , Sphärizität >0,9.

Herstellung: Carbonylmethode oder chemische Reduktionsmethode, Fließfähigkeit ~20 s/50 g.

Zubereitung :

Inhaltsstoffe : WC (94 Gew.- %, 12 μm) , Co (6 Gew.- %) , Cr3C2 (0,3 Gew.- %).

Compoundierung : Nassmahlen (12–14 h, PEG 1,5 %), D50 80–150 μm .

Pressen : CIP (200–250 MPa), Knüppel 6,2 × 6,2 × 43 mm.

Sintern : Vakuumsintern (1400 °C, <10⁻³ Pa) + HIP (1400 °C, 100 MPa).

Bearbeitung : Schleifen (Ra <0,4 μm) , Funkenkerben (0,25 ± 0,02 mm).

Leistung :

Härte: 1500 ± 50 HV (GB/T 79972017).

Biegefestigkeit: 2,0 ± 0,1 GPa (GB/T 38512015).

Bruchzähigkeit: 8 ± 0,5 MPa·m^{1/2}.

Beispiele :

YG6-Teststab: Carbonylkobaltpulver, Korngröße ~1,2 μm , Schnittlebensdauer 2 Stunden (Sandvik, 2023).

4.2 YG15 (15 % Co, hochfeste Form)

Anforderungen an Kobaltpulver :

Reinheit: >99,9 %, O <0,05 %, Fe <0,01 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Partikelgröße: 1,52 μm , D50 \sim 1,8 μm , Agglomeration $<1\%$.

Herstellung: Chemische Reduktion oder Zerstäubung, Fließfähigkeit \sim 22 s/50 g.

Zubereitung :

Inhaltsstoffe : WC (85 Gew.- % , 1,52,5 μm) , Co (15 Gew.- %) , Cr₃C₂ (0,5 Gew.- %).

Compoundierung : Nassmahlung (14-16 h, PVA 1%), D50 100-200 μm .

Pressen : CIP (250–300 MPa), Knüppel 5,0 \times 10,0 \times 40 mm.

Sintern : Vakuumsintern (1450 °C, $<10^{-3}$ Pa) + HIP (1450 °C, 120 MPa).

Bearbeitung : Schleifen (Ra $<0,2$ μm) , Funkenkerben (0,25 \pm 0,01 mm).

Leistung :

Härte: 1400 \pm 50 HV.

Biegefestigkeit: 2,5 \pm 0,1 GPa .

Bruchzähigkeit: 12 \pm 0,5 MPa·m^{1/2} .

Beispiele :

- Teststab: reduziertes Kobaltpulver, Korngröße \sim 1,8 μm , Stanzebensdauer 120.000 Mal (ScienceDirect, 2020).

4.3 YG8N (8 % Co, ultrafeinkörniges Luftfahrtwerkzeug)

Anforderungen an Kobaltpulver :

Reinheit: $>99,95\%$, O $<0,02\%$, Fe $<0,005\%$.

Partikelgröße: 0,20,8 μm , D50 \sim 0,5 μm , Sphärizität $>0,95$.

Herstellung: Carbonylmethode + Plasmasphäroidisierung, Fluidität \sim 15 s/50 g.

Zubereitung :

Inhaltsstoffe : WC (91,5 Gew.- % , 0,20,4 μm) , Co (8 Gew.- %) , Cr₃C₂ (0,4 Gew.- %) , VC (0,1 Gew.- %).

Mischen : Hochenergie-Kugelmahlen (1820 h, modifiziertes PEG 1 %), D50 30100 μm .

Pressen : CIP (300–350 MPa), Block 6,3 \times 6,3 \times 44 mm.

Sintern : Vakuumsintern (1350 °C, $<5 \times 10^{-4}$ Pa) + HIP (1350 °C, 150 MPa).

Bearbeitung : Ultrapräzisionsschleifen (Ra $<0,2$ μm) , Femtosekundenlaserkerbe (0,25 \pm 0,005 mm).

Leistung :

Härte: 2000 \pm 50 HV.

Biegefestigkeit: 2,2 \pm 0,1 GPa .

Bruchzähigkeit: 9 \pm 0,5 MPa·m^{1/2} .

Beispiele :

YG8N-Teststab: Carbonylkobaltpulver, Korngröße $<0,5$ μm , Lebensdauer des Luftfahrtwerkzeugs 4 Stunden (Sandvik, 2023).

5. Schlüsselfaktoren für die Auswahl von Kobaltpulver

Die Auswahl des Kobaltpulvers erfordert eine umfassende Berücksichtigung der Legierungseigenschaften, der Prozessbedingungen und der Kosten:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hochleistungslegierungen (wie YG8N):

Wahl ist Carbonylkobaltpulver mit einer Reinheit von >99,95 %, einer Partikelgröße von 0,20,8 µm und O <0,02 %.

Grund: Feine Körnung und geringer Sauerstoffgehalt sorgen für Korngröße <0,5 µm , Härtesteigerung um 510 %.

Hochzähe Legierung (wie YG15):

eine chemische Reduktions- oder Zerstäubungsmethode, Partikelgröße 1,52 µm , O <0,05 %.

Grund: Bei hohem Kobaltgehalt ist eine etwas größere Partikelgröße geeignet, KIC um 10 % erhöht.

Kostensensitiv (z. B. YG6):

Verwendung chemischer Reduktion oder Elektrolyse, Partikelgröße 12 µm , O <0,05 %.

Grund: 20–30 % geringere Kosten, erfüllt allgemeine Werkzeuganforderungen (Festigkeit 2,0 GPa) .

Großer Prüfstab (z. B. YG15):

Es wurde die Zerstäubungsmethode verwendet, Partikelgröße 23 µm , Fließfähigkeit ~20 s/50 g.

Grund: Geeignet für große Partikel, Kompressionsgleichmäßigkeit > 95 %.

6. Fazit

Für den Einsatz in kobaltbasiertem Hartmetall müssen folgende Anforderungen erfüllt werden:

Chemische Zusammensetzung : Reinheit > 99,9 %, O < 0,05 %, Fe < 0,01 %, C < 0,01 % (GB/T 53142011).

Physikalische Eigenschaften : Partikelgröße 0,52 µm (konventionell) oder 0,20,8 µm (ultrafeines Korn) , Fließfähigkeit <25 s/50 g (GB/T 1482-2010).

Mikromorphologie : Nahezu kugelförmig, Sphärizität > 0,9, Agglomeration < 1 % (GB/T 183762014).

Zubereitung :

Carbonylmethode : hohe Reinheit (>99,95 %), Partikelgröße 0,52 µm , geeignet für YG8N.

Chemisches Reduktionsverfahren : kostengünstig , Partikelgröße 0,53 µm , geeignet für YG6 und YG15 .

Zerstäubungsmethode : große Partikel (15 µm) , geeignet für große Prüfstäbe.

Elektrolytisches Verfahren : kostengünstig, erfordert Schleifen, für allgemeine Güten geeignet.

Anwendungsbeispiele :

YG6: Carbonyl- oder reduziertes Kobaltpulver (11,5 µm) , Härte 1500 HV, Festigkeit 2,0 GPa .

YG15: reduziertes bzw. zerstäubtes Kobaltpulver (1,52 µm) , KIC 12 MPa·m^{1/2} .

YG8N: Carbonyl + sphäroidisiertes Kobaltpulver (0,20,8 µm) , Härte 2000 HV, Korngröße <0,5 µm .

von Kobaltpulver (wie Ultraschalldispersion und Inertschutz) kann die Gleichmäßigkeit um 20 % verbessern, die η-Phase um 50 % reduzieren und die Konsistenz der Legierungsleistung verbessern (Abweichung <3 %). In Zukunft werden Nano-Kobaltpulver (<0,2 µm) und umweltfreundliche Herstellungstechnologien (wie Niedertemperaturreduktion) die Leistung von Hartmetall auf Kobaltbasis weiter verbessern .

Standard :

GB/T 5314 2011: Chemische Zusammensetzung. GB/T 18376 2014: Mikrostruktur.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 1482 2010: Liquidität. GB/T 3851 2015: Biegefestigkeit.

GB/T 7997 2017: Härte. GB/T 3849 2015: Magnetische Eigenschaften.

Vergleichstabelle von Kobaltpulver und Nickelpulver

Merkmal	Kobaltpulver	Nickelpulver
Reinheit	>99,9 %, >99,95 % (ultrafeine Körnung)	>99,9 %, >99,95 % (hohe Korrosionsbeständigkeit)
Granularität	0,52 μm , 0,20,8 μm (ultrafeine Körnung)	0,52 μm , 0,20,8 μm (ultrafeine Körnung)
Sauerstoffgehalt	<0,05 %, <0,03 % (ultrafeines Korn)	<0,05 %, <0,03 % (hohe Korrosionsbeständigkeit)
Morphologie	Fast kugelförmig, Sphärizität >0,9	Fast kugelförmig, Sphärizität >0,9
Magnetisierung	~160 Emu/g	~55 Emu/g
Hauptzubereitungsmethode	Carbonylierung, chemische Reduktion, Zerstäubung, Elektrolyse	Carbonylierung, chemische Reduktion, Zerstäubung, Elektrolyse
Kosten	Höher (20 % höher als Nickelpulver)	Untere
Legierungseigenschaften	Festigkeit 1,52,5 GPa , KIC 812 MPa·m ^{1/2}	Festigkeit 1,82,2 GPa , KIC 710 MPa·m ^{1/2}
Korrosionsbeständigkeit	0,01 mm/Jahr (5 % HCl)	<0,005 mm/Jahr (5 % HCl)
Anwendungsszenario	Schneidwerkzeuge, Matrizen, Bergbauwerkzeuge	Chemische Geräte, Erdölwerkzeuge, Hochtemperaturformen

Standard : GB/T 43342020 (Korrosionsbeständigkeit), GB/T 38512015 (Biegefestigkeit).

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

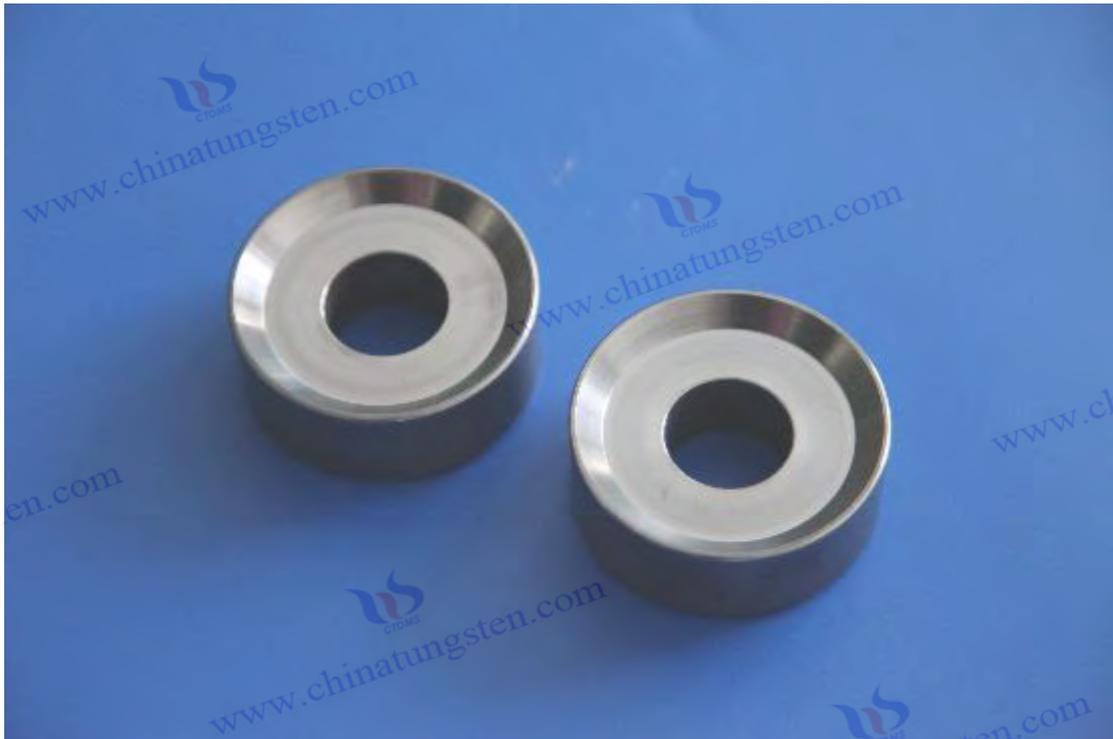
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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 7997-2017 Prüfverfahren für Vickershärte und Mikrohärte von Hartmetall

GB/T 7997-2017 „Prüfverfahren für Vickershärte und Mikrohärte von Hartmetall“ ist eine chinesische nationale Norm, die die Prüfverfahren für die Vickershärte (HV) und Mikrohärte (Mikro-Vickershärte , HVM) von Hartmetall festlegt. Sie gilt für die Härteprüfung von Hartmetallwerkstoffen (wie WC-Co, WC-Ni usw.).

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt die Prüfverfahren für die Vickershärte und Mikrohärte von Hartmetall fest, einschließlich Prüfprinzipien, Ausrüstung, Probenanforderungen, Prüfverfahren, Ergebnisberechnung, Prüfbericht usw.

Diese Norm gilt für die Härtebestimmung von gesinterten Hartmetallprodukten (wie Schneidwerkzeugen, Bergbauwerkzeugen, verschleißfesten Teilen) und ungesinterten Hartmetallrohlingen und ist auf den Härtebereich von HV 500 bis HV 3000 anwendbar.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind wesentliche Referenzdokumente für die Umsetzung dieser Norm. Bei datierten Referenzdokumenten ist ausschließlich die Version des jeweiligen Dokuments maßgeblich; bei undatierten Referenzdokumenten ist die jeweils neueste Version (einschließlich aller Änderungen) maßgeblich.

GB/T 230.1 Rockwell-Härteprüfung für metallische Werkstoffe, Teil 1: Prüfverfahren (Skala A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)

GB/T 4340.1 Vickers-Härteprüfung für metallische Werkstoffe Teil 1: Prüfverfahren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 4340.2 Vickers-Härteprüfung für metallische Werkstoffe Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung von Härteprüfgeräten

GB/T 4340.3 Vickers-Härteprüfung für metallische Werkstoffe Teil 3: Kalibrierung von Standardhärteblöcken

GB/T 4505 Probenahme- und Probenvorbereitungsverfahren für Hartmetall

GB/T 5124 Chemische Analysemethoden für Hartmetall

GB/T 16594 Allgemeine Regeln für die Mikrostrukturprüfung metallischer Werkstoffe

3 Begriffe und Definitionen

Vickershärte (HV): Mit einem Vickers-Härteprüfgerät wird ein regelmäßiger tetraedrischer Diamant-Eindringkörper unter einer bestimmten Last in die Oberfläche der Probe gedrückt. Der Härtewert wird nach Messung der diagonalen Länge des Eindrucks berechnet. Die Einheit ist HV.

Mikrohärte (HVM): Unter dem Mikroskop gemessene Vickershärte, geeignet für die Härteprüfung kleiner Proben oder lokaler Mikrobereiche, mit einer Belastung von normalerweise weniger als 1 kgf .

Eindruckdiagonale: Die Länge der beiden Diagonalen des Vickers-Eindrucks in mm.

Härtewert: Härte, berechnet auf Grundlage der diagonalen Länge des Eindrucks und der Belastung, in kgf /mm² (umgerechnet in HV).

4 Prüfprinzip

Bei der Vickers-Härte- und Mikrohärteprüfung wird ein regelmäßiger viereckiger pyramidenförmiger Diamant-Eindringkörper (Scheitelwinkel $136^{\circ} \pm 0,5^{\circ}$) verwendet, der unter einer bestimmten Last in die Probenoberfläche gedrückt wird. Dieser wird für eine bestimmte Zeit gehalten , anschließend entlastet und die diagonale Länge des Eindrucks gemessen. Anschließend wird der Härtewert mithilfe der folgenden Formel berechnet.

Die Formel lautet wie folgt:

$$HV = 1.8544 \cdot \frac{F}{d^2}$$

In:

- HV: 维氏硬度值 (kgf/mm², 单位为 HV) ;
- F: 试验载荷 (kgf) ;
- d: 压痕对角线的平均长度 (mm) .

5 Ausrüstung und Materialien

Härteprüfgerät:

Vickers-Härteprüfer: gemäß GB/T 4340.2, Lastbereich 1–50 kgf \pm 0,1 kgf .

Mikrohärteprüfer: Lastbereich 0,01–1 kgf \pm 0,001 kgf , ausgestattet mit Mikroskop (Vergrößerung \geq 400 -fach) .

Eindringkörper: Regelmäßiger tetraedrischer Diamanteindringkörper, Scheitelwinkel $136^{\circ} \pm 0,5^{\circ}$, Oberfläche fehlerfrei.

Standardhärteblock: gemäß GB/T 4340.3, Härtebereich HV 500 bis HV 3000.

Oberflächenbehandlung der Probe: Poliert auf eine Oberflächenrauheit $Ra \leq 0,2 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$, ohne Oxidschicht oder Risse.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Umgebungsbedingungen: Temperatur 20–25 °C ± 1 °C, Luftfeuchtigkeit 40–60 % ± 5 % relative Luftfeuchtigkeit, keine Vibrationsstörungen.

6. Proben

Probenanforderungen:

Die Probenahme muss gemäß GB/T 4505 erfolgen, mit einer flachen Oberfläche und einer Dicke $\geq 1,5$ -mal der Eindringtiefe (ungefähr 0,1–0,5 mm).

Probengröße: Mindestfläche 5 mm × 5 mm ± 0,1 mm, maximale Größe 50 mm × 50 mm ± 0,1 mm.

Oberflächenbehandlung:

Polieren: Verwenden Sie metallografisches Schleifpapier (Körnung 800–2000 Mesh) und Polierpaste (Partikelgröße $\leq 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$).

Reinigung: Verwenden Sie Ethanol (Reinheit $\geq 99,5 \% \pm 0,1 \%$), um Ölflecken zu entfernen.

Anzahl der Proben: 3–5 Proben pro Charge, mit mindestens 5 Eindrücken auf derselben Probe.

7 Testschritte

7.1 Härteprüfung nach Vickers

Gerätekalibrierung:

Die Kalibrierung des Härteprüfers erfolgt mit einem Standardhärteblock mit einer Abweichung von $< \pm 2 \% \pm 0,5 \%$.

Kalibrieren Sie die Eindringkörpergeometrie mit einer Spitzenwinkelabweichung von $< \pm 0,5^\circ$.

Auswahl laden:

Übliche Belastungen: 5 kgf, 10 kgf, 30 kgf $\pm 0,1$ kgf (Auswahl entsprechend dem Härtebereich).

Lasthaltezeit: 10–15 s ± 1 s.

Eindruckmessung:

Legen Sie die Probe auf die Werkbank des Härteprüfgeräts und stellen Sie sicher, dass die Probenoberfläche eben ist.

Bringen Sie die Last an, halten Sie sie für eine bestimmte Zeit und entladen Sie sie dann.

Messen Sie die Längen der beiden Diagonalen der Vertiefung (d_1 und d_2) mit einer Genauigkeit von 0,001 mm $\pm 0,0001$ mm.

Abstand der Einkerbungen: ≥ 3 -fache der Diagonallänge (ca. 0,3–1,5 mm).

Härteberechnung:

Berechnen Sie den HV-Wert nach der Formel und nehmen Sie den Durchschnittswert aus 5 Eindrücken.

Abweichung $< \pm 3 \% \pm 0,5 \%$, sonst erneute Prüfung.

7.2 Mikrohärteprüfung

Gerätekalibrierung:

Verwenden Sie einen Mikrohärteprüfer, eine kalibrierte Last und eine Mikroskopvergrößerung ($\geq 400 \times$).

Abweichung $< \pm 2 \% \pm 0,5 \%$.

Auswahl laden:

Übliche Lasten: 0,05 kgf, 0,1 kgf, 0,5 kgf $\pm 0,001$ kgf.

Lasthaltezeit: 10–15 s ± 1 s.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Eindruckmessung:

Beobachten Sie die Vertiefung unter einem Mikroskop und messen Sie die diagonalen Längen (d_1 und d_2) mit einer Genauigkeit von $0,0005 \text{ mm} \pm 0,0001 \text{ mm}$.

Abstand der Einkerbungen: ≥ 5 -fache der Diagonallänge (ca. $0,05\text{--}0,2 \text{ mm}$).

Härteberechnung:

Berechnen Sie den HVM-Wert nach der Formel und nehmen Sie den Durchschnittswert aus 5 Eindrücken.

Abweichung $< \pm 4 \% \pm 0,5 \%$, sonst erneuter Test.

8 Ergebnisausdruck

Härtewert: ausgedrückt als HV oder HVM, behalten Sie die Ganzzahl bei, z. B. HV 1800 oder HVM 2000.

Inhalt des Berichts:

Probennummer, Belastungswert, diagonale Eindrucklänge, durchschnittlicher Härtewert und Abweichung.

Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit).

Datum der Prüfung und Bediener.

Beispiel: WC-10 % Co-Probe, Belastung 30 kgf, durchschnittliche Diagonale $0,042 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$, HV 1800 ± 50 .

9 Einflussfaktoren

Probenoberfläche: Eine Oberflächenrauheit $R_a > 0,2 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$ führt zu unscharfen Eindrücken und geringer Härte (Abweichung $> 5 \% \pm 1 \%$).

Lastabweichung: Lastabweichung $> \pm 0,1 \text{ kgf}$ beeinflusst die Eindringtiefe, Härteabweichung $> 3 \% \pm 0,5 \%$.

Umgebungsvibrationen: Eine Vibrationsfrequenz von $>1 \text{ Hz} \pm 0,1 \text{ Hz}$ führt zu einer Eindruckabweichung und muss vor Vibrationen geschützt werden.

Eindringkörperstatus: Eindringkörperdefekte (Kratzer $> 0,01 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$) führen zu geringer Härte und erfordern eine regelmäßige Überprüfung.

10 Inspektionsregeln

Probenahme: Gemäß GB/T 4505 werden aus jeder Charge ($\leq 100 \text{ kg}$) 3–5 Proben entnommen und für jede Probe 5 Eindrücke gemessen.

Prüfhäufigkeit: Werksinspektion (jede Charge), Typprüfung (einmal jährlich oder bei Prozessänderung).

Beurteilung: Alle Proben werden als qualifiziert eingestuft, wenn ihre Härtewerte den Anforderungen entsprechen. Wenn eine Probe die Anforderungen nicht erfüllt, ist eine erneute Prüfung zulässig. Wenn die erneute Prüfung erneut fehlschlägt, wird die Charge als nicht qualifiziert eingestuft.

11 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

Beschreibung der Probe (Zusammensetzung, Herstellungsverfahren).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Prüfverfahren (Vickers- oder Mikrohärté).

Belastungswert, diagonale Eindrucklänge, Härtewert und Abweichung.

Umgebungsbedingungen (Temperatur 20–25 °C ± 1 °C, Luftfeuchtigkeit 40–60 % ± 5 % relative Luftfeuchtigkeit).

Standardnummer (GB/T 7997-2017).

Testdatum und Unterschrift des Bedieners.

Anhang A (Informativer Anhang) Typische Härtewerte von Hartmetall

WC-6%Co: HV 1800–2000±50, geeignet für Schneidwerkzeuge.

WC-10 % Co: HV 1500–1700 ± 50, geeignet für Bergbauwerkzeuge.

WC-12 % Ni: HV 1400–1600 ± 50, geeignet für verschleißfeste Teile.

Anhang B (Normativer Anhang) Ergänzende Hinweise zu Prüfverfahren

Eindruckmessung: Bei der Messung der Mikrohärté sollte die Mikroskopvergrößerung ≥400-fach sein und das Sichtfeld klar sein.

Umgebungskontrolle: In der Testumgebung gibt es keine Störungen des Luftstroms und die Temperaturschwankung beträgt <±1 °C.

Wartung des Eindringkörpers: Überprüfen Sie den Eindringkörper nach jeweils 500 Tests und ersetzen Sie ihn, wenn der Kratzer >0,01 mm±0,001 mm ist.

Zusammenfassen

Die Norm GB/T 7997-2017 spezifiziert das Prüfverfahren für die Vickershärté und Mikrohärté von Hartmetall. Es verwendet einen regulären tetraedrischen Diamant-Eindringkörper (Scheitelwinkel $136^{\circ} \pm 0,5^{\circ}$), um die Härté (HV 500–3000) durch Messung der diagonalen Länge des Eindrucks zu berechnen. Die Norm spezifiziert die Gerätekalibrierung (Abweichung <± 2 %), die Probenvorbereitung ($Ra \leq 0,2 \mu m$), die Prüfschritte und die Ergebnisdarstellung, um die Genauigkeit der Härteprüfung (Abweichung <± 3 %) zu gewährleisten. Dieses Verfahren eignet sich für die Qualitätskontrolle von Hartmetallprodukten wie Flugzeugwerkzeugen (HV 1800–2000) und Bergbauwerkzeugen (HV 1500–1700).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang :

GB/T 4340.1-2017 Vickers-Härteprüfung für Metallwerkstoffe

Teil 1: Prüfverfahren

1 Geltungsbereich

Dieser Teil legt das Prüfverfahren für die Vickers-Härteprüfung metallischer Werkstoffe fest und umfasst Prüfprinzip, Prüfmittel, Probenanforderungen, Prüfablauf, Härteberechnung, Ergebnisdarstellung und Inhalt des Prüfberichts.

Diese Norm gilt für die Vickers-Härtebestimmung metallischer und einiger nichtmetallischer Werkstoffe (wie Hartmetall und Keramik) mit einem Härtebereich von HV 5 bis HV 3000 und einem Lastbereich von 0,01 kgf bis 50 kgf .

Diese Norm ist nicht anwendbar auf Proben mit übermäßig hoher Oberflächenrauheit ($R_a > 0,4 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$) oder einer Dicke , die nicht ausreicht, um der Eindringtiefe standzuhalten.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente sind wesentliche Referenzdokumente für die Umsetzung dieser Norm. Es gelten ausschließlich die angegebenen Versionen der referenzierten Dokumente.

GB/T 230.1 Rockwell-Härteprüfung für metallische Werkstoffe, Teil 1: Prüfverfahren (Skala A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)

GB/T 4340.2 Vickers-Härteprüfung für metallische Werkstoffe Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung von Härteprüfgeräten

GB/T 4340.3 Vickers-Härteprüfung für metallische Werkstoffe Teil 3: Kalibrierung von Standardhärteblöcken

GB/T 4505 Probenahme- und Probenvorbereitungsverfahren für Hartmetall

GB/T 16594 Allgemeine Regeln für die Mikrostrukturprüfung metallischer Werkstoffe

GB/T 8170 Regeln zum Runden von Werten

3 Begriffe und Definitionen

Vickershärte (HV): Unter einer bestimmten Belastung wird ein regelmäßiger viereckiger pyramidenförmiger Diamant-Eindringkörper mit einem Scheitelwinkel von 136° in die Oberfläche der Probe gedrückt. Der Härtewert wird nach Messung der diagonalen Länge des Eindrucks berechnet. Die Einheit ist HV.

Mikro-Vickers-Härte (HVM): Unter einem Mikroskop gemessene Vickers-Härte bei einer Belastung von weniger als 1 kgf .

Eindruckdiagonale: Die Länge der beiden Diagonalen des Vickers-Eindrucks in mm.

Prüflast: Die auf den Eindringkörper ausgeübte Kraft in kgf oder N ($1 \text{ kgf} = 9,80665 \text{ N}$).

Haltezeit: Die Zeit in Sekunden, die die Last nach dem Anlegen gehalten wird.

4 Prüfprinzip

Bei der Vickers-Härteprüfung wird ein regelmäßiger, viereckiger, pyramidenförmiger Diamant-Eindringkörper mit einem Scheitelwinkel von $136^\circ \pm 0,5^\circ$ verwendet. Dieser wird unter einer bestimmten Last in die Probenoberfläche gedrückt, für eine bestimmte Zeit gehalten und anschließend entlastet. Die Längen der beiden Diagonalen des Eindrucks (d_1 und d_2) werden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

gemessen, und der Durchschnittswert d wird berechnet. Der Härtewert wird durch Einsetzen in die folgende Formel berechnet:

$$HV = 1.8544 \cdot \frac{F}{d^2}$$

其中:

- HV : 维氏硬度值 (kgf/mm², 换算为 HV) ;
 - F : 试验载荷 (kgf) ;
 - d : 压痕对角线的算术平均值 (mm) , $d = \frac{d_1+d_2}{2}$.
- 若以 N 为单位, 则公式为:
- $$HV = 0.1891 \cdot \frac{F}{d^2}$$
- 其中 F 单位为 N.

5 Prüfmittel

Vickers-Härteprüfgerät:

Lastbereich: 0,01 kgf bis 50 kgf ± 0,1 kgf .

Lastgenauigkeit: gemäß GB/T 4340.2, Abweichung <±1 %±0,1 %.

Messsystem: Mikroskop oder eingebautes optisches System, Genauigkeit 0,001 mm ± 0,0001 mm.

Druckhöhe:

Regelmäßiger tetraedrischer Diamant-Eindringkörper, Scheitelwinkel 136°±0,5°, Kantengeradheit <0,002 mm±0,0002 mm.

Es sind keine Kratzer oder Defekte auf der Oberfläche vorhanden (Kratzer < 0,01 mm ± 0,001 mm).

Standardhärteblock:

Entspricht GB/T 4340.3, Härtebereich HV 100 bis HV 3000.

Umweltbedingungen:

Temperatur: 20–25 °C ± 1 °C.

Luftfeuchtigkeit: 40–60 % ± 5 % relative Luftfeuchtigkeit.

Keine Vibrationsstörung (Frequenz <1 Hz±0,1 Hz).

6. Proben

Größenanforderungen:

Mindestdicke: ≥ 1,5-fache Eindringtiefe (ca. 0,1–0,5 mm).

Minimale Fläche: 10 mm × 10 mm ± 0,1 mm, maximale Größe 50 mm × 50 mm ± 0,1 mm.

Oberflächenvorbereitung:

Polieren: Metallografisches Schleifpapier (800-2000 Mesh) und Polierpaste (Partikelgröße ≤ 1 μm±0,01 μm) , Oberflächenrauheit Ra ≤ 0,2 μm± 0,02 μm .

Reinigung: Verwenden Sie Ethanol (Reinheit ≥ 99,5 % ± 0,1 %) , um Ölflecken zu entfernen.

Menge:

Partie 3–5 Proben , jede Probe sollte mindestens 5 Einkerbungen aufweisen.

7 Prüfverfahren

Gerätekalibrierung:

Die Kalibrierung des Härteprüfers erfolgt mit einem Standardhärteblock mit einer Abweichung von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$<\pm 2\% \pm 0,5\%$.

Überprüfen Sie die Geometrie des Eindringkörpers, die obere Winkelabweichung beträgt $<\pm 0,5^\circ$.

Auswahl laden:

Übliche Lasten: 0,1 kgf, 0,3 kgf, 0,5 kgf, 1 kgf, 5 kgf, 10 kgf, 30 kgf $\pm 0,1$ kgf.

Empfohlene Hartlegung: 10 kgf oder 30 kgf $\pm 0,1$ kgf.

Mikrohärte: 0,01–1 kgf $\pm 0,001$ kgf.

Testbedingungen:

Haltezeit: 10–15 s ± 1 s (für Hartmetall werden 15 s ± 1 s empfohlen).

Abstand der Einkerbungen: ≥ 3 -fache der Diagonallänge (ca. 0,3–1,5 mm).

Abstand zwischen Eindruck und Probenrand: $\geq 2,5$ -fache Diagonallänge.

Eindruckmessung:

Mikroskopvergrößerung: ≥ 400 -fach (Mikrohärte), ≥ 100 -fach (herkömmliche Härte).

Messen Sie die Diagonalen d_1 und d_2 mit einer Genauigkeit von $0,001$ mm $\pm 0,0001$ mm.

Härteberechnung:

Berechnen Sie HV gemäß der Formel, nehmen Sie den Durchschnittswert von 5 Eindrücken, und die Abweichung beträgt $<\pm 3\% \pm 0,5\%$.

8 Einflussfaktoren

Oberflächenqualität: $R_a > 0,2$ $\mu\text{m} \pm 0,02$ μm führt zu unscharfem Eindruck und geringer Härte (Abweichung $>5\% \pm 1\%$).

Lastabweichung: $>\pm 1\% \pm 0,1\%$ beeinflusst die Eindringtiefe, Härteabweichung $>3\% \pm 0,5\%$.

Umgebungsvibration: Frequenz >1 Hz $\pm 0,1$ Hz verursacht eine Eindruckverschiebung.

Neigung der Probe: Ein Neigungswinkel $> 2^\circ \pm 0,1^\circ$ führt zu asymmetrischen Eindrücken und muss neu eingestellt werden.

9 Ergebnisausdruck

Härtewert: angegeben in HV, behalten Sie die Ganzzahl bei, zum Beispiel HV 1800 ± 50 .

Symbol: HV wird nach der Last hinzugefügt, z. B. ist eine Last von 30 kgf HV30.

Inhalt des Berichts:

Probennummer, Belastungswert, diagonale Eindrucklänge, Härtewert und Abweichung.

Umgebungsbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit).

Datum der Prüfung und Bediener.

10 Prüfbericht

Beschreibung der Probe (Material, Herstellungsverfahren).

Prüfbedingungen (Belastung, Haltezeit, Eindruckabstand).

Mittelwert und Abweichung der Härtewerte.

Umgebungsbedingungen (Temperatur $20\text{--}25$ $^\circ\text{C} \pm 1$ $^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit $40\text{--}60\%$ $\pm 5\%$ relative Luftfeuchtigkeit).

Standardnummer (GB/T 4340.1-2017).

Testdatum und Unterschrift des Bedieners.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang A (Informativer Anhang) Vickershärtewerte gängiger Metallmaterialien

Hartmetall (WC-10 % Co): HV 1500–1800 ± 50.

Gehärteter Stahl (HRC 60): HV 700–800±30.

Reines Aluminium: HV 20-50±5.

GB/T 4340.2-2017 Vickers-Härteprüfung für Metallwerkstoffe Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung von Härteprüfgeräten

1 Geltungsbereich

Dieser Teil legt die Prüf- und Kalibriermethoden für Vickers-Härteprüfgeräte fest, einschließlich der Überprüfung der Lastgenauigkeit, der Eindringkörpergeometrie, der Messsystemgenauigkeit und der Wiederholbarkeit.

Er gilt für die Werksinspektion, die regelmäßige Kalibrierung und die Prüfung vor Gebrauch von Vickers-Härteprüfgeräten (konventionell und mikroskopisch).

2 Normative Verweisungen

GB/T 4340.1 Vickers-Härteprüfung für metallische Werkstoffe Teil 1: Prüfverfahren

GB/T 4340.3 Vickers-Härteprüfung für metallische Werkstoffe Teil 3: Kalibrierung von Standardhärteblöcken

JJG 112-2005 Verifizierungsverfahren für Vickers-Härteprüfgeräte

GB/T 8170 Regeln zum Runden von Werten

3 Begriffe und Definitionen

Lastfehler: Die Abweichung zwischen der tatsächlichen Last und der angegebenen Last, ausgedrückt in %.

Messsystemfehler: Die Abweichung zwischen dem diagonalen Messwert und dem tatsächlichen Wert in μm .

Wiederholbarkeit: Die Konsistenz von Härtewerten, die mehrmals unter denselben Bedingungen gemessen wurden, in HV.

Kalibrierzyklus: Das Zeitintervall zwischen den Kalibrierungen des Härteprüfgeräts, normalerweise 6 Monate bis 1 Jahr.

4 Prüfgegenstände

Lastgenauigkeit: Abweichung $< \pm 1 \text{ \%} \pm 0,1 \text{ \%}$.

Eindringkörpergeometrie:

Scheitelwinkel: $136^\circ \pm 0,5^\circ$.

Kantengeradheit : $< 0,002 \text{ mm} \pm 0,0002 \text{ mm}$.

Scheitelpunktabweichung: $< 0,001 \text{ mm} \pm 0,0001 \text{ mm}$.

Messsystem:

Diagonaler Messfehler: $< \pm 0,2 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$ (Mikrohärteprüfer).

Mikroskopvergrößerungsfehler: $< \pm 1 \text{ \%} \pm 0,1 \text{ \%}$.

Haltezeit: Abweichung $< \pm 0,5 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s}$.

Wiederholbarkeit: Standardabweichung von 5 Messungen $< \pm 1 \text{ \%} \pm 0,1 \text{ \%}$.

5. Kalibriergeräte

Standardhärteblock:

Entspricht GB/T 4340.3, Härtebereich HV 100–3000.

Gleichmäßigkeit: $< \pm 3 \text{ \%} \pm 0,5 \text{ \%}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mikrometer: Genauigkeit $0,001 \text{ mm} \pm 0,0001 \text{ mm}$.

Lastkalibrierungsgerät: Genauigkeit $0,01 \text{ kgf} \pm 0,001 \text{ kgf}$.

Optisches Mikroskop: Vergrößerung ≥ 1000 -fach, Genauigkeit $0,0001 \text{ mm} \pm 0,00001 \text{ mm}$.

Umweltbedingungen:

Temperatur: $20-25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Luftfeuchtigkeit: $40-60 \% \pm 5 \% \text{ relative Luftfeuchtigkeit}$.

6 Kalibriervorgang

Lastkalibrierung:

Kalibrieren Sie jeden Lastpunkt ($0,1 \text{ kgf}$, 1 kgf , 5 kgf , 10 kgf , $30 \text{ kgf} \pm 0,1 \text{ kgf}$) mit einem Standardgewicht oder Kraftsensor.

Notieren Sie die Abweichung, wenn $< \pm 1 \% \pm 0,1 \%$, andernfalls passen Sie das Lastsystem an.

Eindringkörperprüfung:

Mit einem optischen Mikroskop wurden der Eindringkörper-Oberkantenwinkel ($136^\circ \pm 0,5^\circ$) und die Kantengeradheit gemessen.

Überprüfen Sie die Oberfläche des Eindringkörpers und ersetzen Sie ihn, wenn Kratzer $> 0,01 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$ vorhanden sind.

Messsystemkalibrierung:

Messen Sie mit einem Standardhärteblock (z. B. HV 1800 ± 10) die Diagonale der Vertiefung.

Sie das Mikroskop auf eine Genauigkeit von $< \pm 0,2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,02 \text{ } \mu\text{m}$.

Zeitkalibrierung beibehalten:

Kalibriert mit einer Stoppuhr, $10-15 \text{ s} \pm 1 \text{ s}$, Abweichung $< \pm 0,5 \text{ s} \pm 0,1 \text{ s}$.

Wiederholbarkeitstest:

Führen Sie eine 5-malige kontinuierliche Messung am Standardhärteblock durch und berechnen Sie die Standardabweichung, $< \pm 1 \% \pm 0,1 \%$.

Anpassung und Aufzeichnung:

Bei Nichtgefallen das Härteprüfgerät (Last, Eindringkörper oder Messsystem) anpassen.

Jahre lang auf.

7 Einflussfaktoren

Temperaturschwankungen: $> \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ beeinträchtigen die Stabilität des Lastsystems, Härteabweichungen $> 2 \% \pm 0,5 \%$.

Eindringkörperverschleiß: Kratzer $> 0,01 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$, die zu geringer Härte führen ($> 3 \% \pm 0,5 \%$).

Lastschwankung: Eine instabile Stromversorgung ($> \pm 1 \text{ V} \pm 0,1 \text{ V}$) verursacht einen Lastfehler.

8 Ergebnisausdruck

Lastfehler: ausgedrückt in %, wobei zwei Dezimalstellen beibehalten werden, z. B. $\pm 0,50 \% \pm 0,01 \%$.

Messfehler: angegeben in μm , zum Beispiel $\pm 0,10 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,01 \text{ } \mu\text{m}$.

Wiederholbarkeit: Ausgedrückt in HV, zum Beispiel $\pm 10 \text{ HV} \pm 1 \text{ HV}$.

9 Kalibrierbericht

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Modell und Nummer des Härteprüfers.

Kalibrierelemente (Last, Eindringkörper, Messsystem, Wiederholbarkeit).

Kalibrierungsergebnisse und Abweichungen.

Umgebungsbedingungen (Temperatur 20–25 °C ± 1 °C, Luftfeuchtigkeit 40–60 % ± 5 % relative Luftfeuchtigkeit).

Standardnummer (GB/T 4340.2-2017).

Kalibrierungsdatum und Unterschrift des Bedieners.

Anhang A (Informativer Anhang) Empfehlungen zum Kalibrierungszyklus

Monate kalibrieren .

Bei häufiger Nutzung (> 100 Mal/Tag): alle 3 Monate kalibrieren.

GB/T 4340.3-2017 Vickers-Härteprüfung für Metallwerkstoffe Teil 3: Kalibrierung von Härtevergleichsplatten

1 Geltungsbereich

Dieser Teil legt die Kalibriermethode für Vickers-Härtestandardblöcke fest, einschließlich der Bestimmung des Härtevalues, der Gleichmäßigkeitsprüfung, der Unsicherheitsbewertung und des Inhalts des Kalibrierzertifikats.

Gilt für Standardhärteblöcke zur Kalibrierung von Vickers-Härteprüfgeräten mit einem Härtebereich von HV 100 bis HV 3000.

2 Normative Verweisungen

GB/T 4340.1 Vickers-Härteprüfung für metallische Werkstoffe Teil 1: Prüfverfahren

GB/T 4340.2 Vickers-Härteprüfung für metallische Werkstoffe Teil 2: Überprüfung und Kalibrierung von Härteprüfgeräten

JJF 1071-2010 Nationale Mess- und Kalibrierungsspezifikation

GB/T 8170 Regeln zum Runden von Werten

GB/T 16594 Allgemeine Regeln für die Mikrostrukturprüfung metallischer Werkstoffe

3 Begriffe und Definitionen

Standardhärteblock: Ein Metallblock mit einem bekannten Härtevalue, der zum Kalibrieren eines Härteprüfgeräts verwendet wird.

Gleichmäßigkeit der Härte: Die Konsistenz der Härtevalues auf der Oberfläche eines Härteblocks, gemessen in HV.

Unsicherheit: Das Vertrauensintervall des Härtevalue-Messergebnisses in HV.

Kalibrierzyklus: Das Zeitintervall zur Neukalibrierung des Standardhärteblocks, normalerweise 1–2 Jahre.

4 Kalibrierungsanforderungen

Härtevalue: HV 100-3000, Abweichung $< \pm 2\% \pm 0,5\%$.

Gleichmäßigkeit: Die Abweichung des Härtevalues von 10 Punkten auf derselben Oberfläche beträgt $< \pm 3\% \pm 0,5\%$.

Unsicherheit: $\leq \pm 10\text{ HV} \pm 1\text{ HV}$ (95 % Konfidenzniveau).

Oberflächenqualität: $R_a \leq 0,2\ \mu\text{m} \pm 0,02\ \mu\text{m}$, keine Kratzer oder Oxidschicht.

5. Kalibriergeräte

Vickers-Härteprüfgerät:

Entspricht GB/T 4340.2 und ist auf Bestehen kalibriert.

Lastgenauigkeit: $< \pm 1\% \pm 0,1\%$.

Druckhöhe:

Scheitelwinkel $136^\circ \pm 0,5^\circ$, zertifiziert.

Es liegt kein Oberflächendefekt vor (Kratzer $< 0,01\text{ mm} \pm 0,001\text{ mm}$).

Messsystem:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mikroskopgenauigkeit: $0,001 \text{ mm} \pm 0,0001 \text{ mm}$.

Umweltbedingungen:

Temperatur: $20-25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Luftfeuchtigkeit: $40-60 \% \pm 5 \% \text{ relative Luftfeuchtigkeit}$.

6 Kalibriervorgang

Probenvorbereitung:

Die Oberfläche des Härteblocks wurde auf $Ra \leq 0,2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,02 \text{ } \mu\text{m}$ poliert, mit Ethanol gereinigt und getrocknet.

Härtemessung:

Wählen Sie die Belastung: 5 kgf, 10 kgf, 30 kgf $\pm 0,1 \text{ kgf}$ (je nach Härtebereich).

Messen Sie 10 Punkte mit einem Einkerbungsabstand ≥ 3 mal der Diagonallänge und halten Sie die Zeit $10-15 \text{ s} \pm 1 \text{ s}$.

Gleichmäßigkeitsprüfung:

Berechnen Sie den Durchschnitt und die Standardabweichung der Härtewerte an 10 Punkten mit einer Abweichung von $< \pm 3 \% \pm 0,5 \%$.

Unsicherheitsbewertung:

Einschließlich Härteprüffehler, Messsystemfehler und Umwelteinflüsse.

Unsicherheit $\leq \pm 10 \text{ HV} \pm 1 \text{ HV}$.

verifizieren:

Im Vergleich zu den Ergebnissen nationaler Metrologieinstitute oder Referenzlabore beträgt die Abweichung $< \pm 2 \% \pm 0,5 \%$.

7 Einflussfaktoren

Oberflächenqualität: $Ra > 0,2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,02 \text{ } \mu\text{m}$, was zu einer geringen Härte ($> 3 \% \pm 0,5 \%$) führt.

Umgebungstemperatur: $> \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ beeinträchtigt die Genauigkeit der Eindruckmessung.

Status des Härteprüfgeräts: Lastfehler $> \pm 1 \pm 0,1 \%$ oder Eindringkörperdefekt beeinflusst das Ergebnis.

8 Ergebnisausdruck

Härtewert: angegeben in HV, behalten Sie die Ganzzahl bei, zum Beispiel HV 1800 ± 10 .

Gleichmäßigkeit: ausgedrückt als maximale Abweichung, zB $\pm 20 \text{ HV} \pm 1 \text{ HV}$.

Unsicherheit: Ausgedrückt in HV, zum Beispiel $\pm 8 \text{ HV} \pm 1 \text{ HV}$.

9 Kalibrierzertifikat

Härteblocknummer, Härtewert und Unsicherheit.

Gleichmäßigkeitsdaten und Messpunktverteilung.

Kalibrierbedingungen (Last, Umgebung).

Standardnummer (GB/T 4340.3-2017).

Kalibrierungsdatum, Ablaufdatum und Unterschrift des Bedieners.

Anhang A (Informativer Anhang) Typische Werte von Standardhärteblöcken

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

HV 200±5: Weichstahl.

HV 800±10: Gehärteter Stahl.

HV 1800±20: Harte Legierung.

Anhang B (Normativer Anhang) Kalibrierzyklus und Wartung

Kalibrierzyklus: Einmal jährlich oder nach 500 Anwendungen.

Wartung: Vermeiden Sie Kratzer auf der Oberfläche des Härteblocks und lagern Sie ihn in einer trockenen Umgebung (Luftfeuchtigkeit <50 % ± 5 % relative Luftfeuchtigkeit).

Anhang :

Nickelbasierte Hartmetall-Tiefseedichtungen und Tiefseeventile

Nickelbasiertes Hartmetall (WC + Ni) hat sich aufgrund seiner hervorragenden Korrosionsbeständigkeit, Verschleißfestigkeit, hohen Festigkeit (2,0–2,8 GPa) und hohen Temperaturstabilität (> 1000 °C) zum Kernmaterial für Tiefseedichtungen, Dichtungen und Tiefseeventile entwickelt . Es wird häufig in der Tiefseeöl- und -gasförderung, in Tiefseeventilsystemen und in Hochdruckgeräten (z. B. 15.000–20.000 psi) eingesetzt. Diese Komponenten müssen extremen Umgebungen standhalten (50 °C bis 200 °C, H₂S, CO₂, Seewasserkorrosion), den NACE MR0175-Standards entsprechen und die Anforderungen an Porosität (<0,01 %), Härte (1400–2200 HV) und Dichtungsleistung (Leckrate <10⁻⁶) erfüllen. Dieser Artikel kombiniert nationale Standards (wie GB/T 183762014, GB/T 38502015) und Branchenpraktiken, um den Sinterprozess, die Leistung, die Anwendung und die Auswahlempfehlungen für Tiefseedichtungen und Tiefseeventile aus Nickelhartmetall auf Basis von Tiefsee im Detail vorzustellen.

1. Sinterofenverfahren für Hartmetall auf Nickelbasis

Tiefseedichtungen und -ventile aus nickelbasiertem Hartmetall müssen durch Hochtemperaturesintern hergestellt werden. Zu den Sinteröfen gehören Vakuumsinteröfen, Heißisostatische Pressöfen (HIP) und Atmosphärensinteröfen. Die Prozessparameter sind für die Tiefseeumgebung optimiert.

1.1 Sinterofentypen und Prozessparameter

Vakuumsinterofen:

Anwendung: Herstellung von komplex geformten Dichtringen (z. B. Ø 5200 mm) und Ventilkomponenten (z. B. Ventilsitze Ø 50500 mm).

Prozessparameter:

200600 °C, Heizrate 25 °C/min, Vakuumgrad 10⁻² Pa, H₂-Flussrate 515 l/min, 24 Stunden, Entwachsungsrate >99,5 %.

Sintern: 1350–1450 °C, Heizrate 510 °C/min, Vakuumgrad 10⁻⁴–10⁻⁵ Pa, 24 Stunden warm halten.

Abkühlung: 1015 °C/min (Ar -Zwangskühlung) auf 100 °C.

Eigenschaften: Dichte 14,514,9 g/ cm³, Härte 1400–2000 HV, Porosität <0,01 %.

Heißisostatischer Pressofen (HIP):

Anwendung: Zur Herstellung von Hochleistungsdichtungen und Ventilen (z. B. Hochdruckventilkernen) und Beseitigung von Mikroporen.

Prozessparameter:

Sintern: 1350–1450 °C, Heizrate 58 °C/min, Druck 100–150 MPa (Ar), 13 Stunden warm halten.

Nachbehandlung: 1300–1350 °C, 80–100 MPa, 12 Stunden, Porosität auf <0,001 % reduziert.

Abkühlung: 1520 °C/min (Hochdruck- Ar) auf 200 °C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Eigenschaften: Dichte >99,9 % (14,815,0 g/cm³), Härte 1800–2200 HV, Festigkeit 2,22,8 GPa .

Atmosphären-Sinterofen:

Anwendung: Massenproduktion von Dichtungen (z. B. O-Ringen) und Ventilkomponenten (z. B. Ventilkörpern).

Prozessparameter:

Entwachsen: 200–500 °C, Heizrate 35 °C/min, H₂-Fluss 2050 l/min, O₂ <10 ppm, 35 Stunden.

Sintern: 1300–1400 °C, Heizrate 510 °C/min, H₂/ Ar -Atmosphäre, 35 Stunden warm halten.

Abkühlung: 510°C/min (N₂-Schutz), bis 100°C.

Eigenschaften: Dichte >99 % (14,514,8 g/cm³), Härte 1400–1800 HV, Maßabweichung ±0,10,5 mm.

1.2 Prozessoptimierung

Temperaturregelung: PID+AI-Algorithmus, Genauigkeit ±3 °C, Gleichmäßigkeit ±5 °C, Reduzierung der thermischen Belastung um 30 %.

Entwachsen: Vakuum + H₂-Kombination, Restkohlenstoff <0,05 %, um eine Oxidation der Ni-Phase zu verhindern.

HIP: 1350 °C, 120 MPa, 2 Stunden Haltezeit, Dichteerhöhung um 0,5 %, Zyklus um 20 % verkürzt.

Atmosphäre: H₂-Reinheit >99,999 %, O₂ <5 ppm, Oxidationsrate um 50 % reduziert.

2. Leistungsfähigkeit von Tiefseedichtungen aus Nickel-Hartmetall

Im Vergleich zu Hartmetall auf Kobaltbasis (WC + Co) weist Hartmetall auf Nickelbasis (WC + Ni, Ni-Gehalt 615 %) eine höhere Beständigkeit gegen Meerwasserkorrosion und H₂S/CO₂ auf und erfüllt die Anforderungen extremer Tiefseeumgebungen.

2.1 Materialeigenschaften

Zusammensetzung: WC (8594 %), Ni (615 %), Spuren von Cr/Mo (verbesserte Korrosionsbeständigkeit).

Dichte: 14,515,0 g/cm³ (GB /T 38502015), Abweichung ±0,05 g/cm³ .

Härte: 1400–2200 HV (GB/T 7997–2017), Abweichung ±3050 HV.

Festigkeit: Biegefestigkeit 2,02,8 GPa (GB/T 38512015).

Porosität: <0,01 % (Vakuum/Atmosphäre), <0,001 % (HIP, GB/T 51692013).

Korrosionsbeständigkeit: Beständig gegen H₂S (>1000 ppm), CO₂, Meerwasser (pH 39), gemäß NACE MR0175.

2.2 Dichtleistung

Leckrate: <10⁻⁶ mbar·L /s (Heliumtest, 15.000 psi).

Druckbereich: Vakuum bis 20.000 psi (138 MPa).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Temperaturbereich: 50 °C bis 200 °C (typische Tiefseebedingungen).

Oberflächenbehandlung: Ni/Cr-Galvanisierung oder PTFE-Beschichtung, Reibungskoeffizient um 20 % reduziert, Verschleißfestigkeit um 30 % erhöht.

Dynamische Dichtung: unterstützt leichte dynamische Bewegungen (Verbindung/Trennung), Lebensdauer >1000 Verbindungen.

2.3 Typisch

O-Ring: Ø 5200 mm, Kompressionsrate 1520 %, selbstverstärkende Dichtung.

Dichtung Typ C: Hoher Federrückzug, geeignet für dynamische Hochdruckdichtung.

Ventildichtfläche: Ventilsitz/Ventileinsatz, Oberflächenrauheit Ra 0,20,4 µm, erosionsbeständig.

Empfehlung: Die von CTIA GROUP LTD hergestellten Tiefseedichtungen und -dichtringe aus nickelbasiertem Hartmetall nutzen die fortschrittliche HIP-Sinter-technologie, um eine hohe Dichte (> 99,9 %) und ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit zu gewährleisten und so den Anforderungen der Tiefsee-Öl- und Gasförderung gerecht zu werden.

3. Leistung eines Tiefseeventils aus Nickel-Hartmetall

Bei Tiefseeventilen (wie beispielsweise Absperrschiebern und Kugelhähnen) wird zur Herstellung von Ventilsitzen, Ventilkernen und Dichtflächen Hartmetall auf Nickelbasis verwendet, um hohem Druck (15.000–20.000 psi), korrosiven Flüssigkeiten (Meerwasser, H₂S) und häufigem Schalten (> 10.000 Mal) standzuhalten.

3.1 Eigenschaften der Ventilkomponenten

Material: WC+Ni (Ni 812 %), HIP-Sinterung, Dichte>99,9 %.

Härte: 1800–2200 HV, Verschleißfestigkeit besser als bei Stellite- Legierung.

Festigkeit: 2,22,8 GPa, hohe Schlagzähigkeit, Bruchzähigkeit KIC 1012 MPa·m^{1/2}.

Korrosionsbeständigkeit: Beständig gegen Meerwasser, H₂S (>1000 ppm) und CO₂, besser als Inconel 625.

Oberfläche: hochglanzpoliert (Ra <0,2 µm), PTFE/Ni-Beschichtung, Reibungskoeffizient <0,1.

3.2 Ventilleistung

Druck: 15.000–20.000 psi, gemäß API 6A-Standards.

Temperatur: 50 °C bis 200 °C, beständig gegen Kälteversprödung.

Leckrate: <10⁻⁶ mbar·L /s (Sitz-/Kerndichtung).

Lebensdauer: Schaltvorgänge >10.000 Mal, Wartungsintervall >5 Jahre.

typisch:

Ventilsitz: Hartmetallbeschichtung auf Nickelbasis, Dicke 25 mm, erosionsbeständig.

Ventilkern: Integral HIP-Sinterung, Maßgenauigkeit ±0,01 mm.

Dichtfläche: Metaldichtung Typ C oder Typ E, elastische Verformung 1520 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Empfehlung: Die von CTIA GROUP LTD hergestellten Tiefseeventilkomponenten aus Nickel-Hartmetall werden im Vakuumsinter- und HIP-Verfahren hergestellt, erfüllen die Standards API 6A und NACE MR0175 und eignen sich für Tiefsee-Hochdruckventilsysteme.

4. Anwendungsszenarien

Tiefseerobben:

Anwendung: Hydraulische Kupplungen und Rohrverbinder für die Tiefsee-Öl- und Gasförderung (15.000 psi, 50 °C bis 150 °C).

Leistung: Dichte 14.815,0 g/cm³, Härte 1800–2200 HV, Leckrate <10⁻⁶ mbar·L/s.

Beispiel: O-Ring (Ø 50 mm), HIP-Sintern, 1400 °C, 120 MPa, 4 Stunden, Porosität <0,001 %, H₂S-Beständigkeit 1000 ppm, Lebensdauer >1000 Verbindungen.

Tiefseeventile:

Szenario: Tiefsee-Weihnachtsbäume, Drosselventile, Absperrschieber (20.000 psi, H₂S/CO₂-Umgebung).

Leistung: Sitzhärte 2000 HV, Festigkeit 2,5 GPa, Schaltlebensdauer > 10.000 Mal.

Gehäuse: Kugelhahnsitz (Ø 100 mm), HIP-Sinterung, 1350°C, 150 MPa, 3 Stunden, Dichte 14,9 g/cm³, Seewasserkorrosionsbeständigkeit, Wartungsintervall 5 Jahre.

5. Empfehlungen zur Auswahl von Tiefseeventilkomponenten aus Nickel-Basis-Hartmetall

Je nach Anwendungsumgebung:

Tiefsee-Hydraulikkupplung (hochdynamische Dichtung):

Empfohlen: HIP-gesinterter C-Ring, Ni-Gehalt 1012 %, PTFE-Beschichtung.

Grund: Hoher Federrückzug, Leckrate <10⁻⁶ mbar·L/s, Lebensdauer >1000-fach.

Tiefseeventile (Hochdruck, korrosionsbeständig):

Empfohlen: HIP-gesinterter Ventilsitz/Ventilkern, Ni-Gehalt 812 %, hochglanzpoliert.

Grund: Dichte > 99,9 %, H₂S/CO₂-beständig, Schaltvorgänge > 10.000 Mal.

Je nach Leistungsanforderungen:

Hohe Präzision (±0,01 mm): Vakuumsintern + HIP, Schrumpfungsabweichung <±0,5 %.

Hohe Korrosionsbeständigkeit: Ni-Gehalt 1015 %, Spurenzusatz von Cr/Mo, 10 Jahre seewasserbeständig.

Geringe Leckage: HIP-Sinterung, Oberfläche Ra <0,2 µm, Ni/PTFE-Beschichtung.

Laut Kostenbudget:

Niedrige Kosten: Atmosphären-Sinterofen, 0,8 kWh/kg, geeignet für große Mengen an Dichtungen.

Hohe Leistung: HIP-Sinterofen, 2 kWh/kg, geeignet für ventilkritische Bauteile.

Auswahl des Sinterofens:

Kleine und mittlere Chargen (<50 kg/Ofen): Einkammer-Vakuum-Sinterofen mit hoher Flexibilität.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Große Chargen (>200 kg/Ofen): Mehrkammer-Vakuum-/Atmosphären-Sinterofen, Kostensenkung um 20 %.

Hohe Leistung: HIP-Sinterofen, Dichte >99,9 %, Porosität <0,001 %.

6. Optimierungsvorschläge

Sinterprozess:

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

Entparaffinierung: Vakuum (10^{-2} Pa) + H₂ (10 L/min), Restkohlenstoff <0,05 %.

HIP: 1350 °C, 120 MPa, 2 Stunden, Festigkeitssteigerung um 15 %.

Material:

Ni-Gehalt: 1012 %, Gleichgewicht zwischen Härte und Korrosionsbeständigkeit.

Beschichtung: Ni/PTFE, Reibungskoeffizient um 20 % reduziert, Verschleißfestigkeit um 30 % erhöht.

Spurenelemente: Cr/Mo 0,52 %, H₂S-Beständigkeit um 25 % erhöht.

Gerätewartung:

Online-Überwachung: Echtzeitüberwachung von Temperatur, Druck und O₂, wodurch die Ausfallrate um 20 % reduziert wird.

Komponentenprüfung: Heizelemente aus Molybdän/Wolfram sollten alle 4.000 Stunden gewartet werden, ihre Lebensdauer erhöht sich dadurch um 25 %.

7. Normen

GB/T 345052017: Maßgenauigkeit $\pm 0,01$ mm.

GB/T 183762014: Porosität <0,01 %.

GB/T 38502015: Dichte > 99 %.

GB/T 51692013: Porosität A02B00C00.

GB/T 38512015: Festigkeit 2,0–2,8 GPa .

GB/T 7997-2017: Härte 1400–2200 HV.

NACE MR 0175: Beständig gegen H₂S/CO₂-Korrosion.

API 6A: Tiefseeventildruck 15.000–20.000 psi.

8. Fazit

Tiefseedichtungen und -ventile aus nickelbasiertem Hartmetall werden aufgrund ihrer hohen Dichte (> 99,9 %), Härte (1400–2200 HV), Korrosionsbeständigkeit (Beständigkeit gegen H₂S/CO₂/Meerwasser) und geringen Leckagerate ($< 10^{-6}$ mbar·L/s) häufig verwendet und erfüllen damit die extremen Anforderungen der Tiefsee-Öl- und -Gasförderung. Vakuumsinteröfen, HIP-Sinteröfen und Atmosphärensinteröfen eignen sich jeweils für hohe Präzision, Leistung und Massenproduktion. Durch Optimierung der Prozessparameter (wie 1350 °C, 120 MPa, H₂O₂ < 5 ppm) wird die Produktleistung deutlich verbessert. CTIA GROUP LTD verwendet fortschrittliche

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sintertechnologie bei der Herstellung von Tiefseedichtungen, Dichtringen und Ventilen aus nickelbasiertem Hartmetall und bietet hochzuverlässige Lösungen zur Unterstützung der Tiefseetechnik.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Anhang :

Pumpenkörper und Dichtungen aus Nickel-Karbid

Hartmetall auf Nickelbasis (WC + Ni) ist aufgrund seiner hervorragenden Korrosionsbeständigkeit, Verschleißfestigkeit, hohen Festigkeit (2,0 – 2,8 GPa) und hohen Temperaturstabilität (> 1000 °C) ein ideales Material für chemische Pumpenkörper und Dichtungen. Es wird häufig in der Chemie-, Erdöl- und Pharmaindustrie verwendet, um mit korrosiven Flüssigkeiten (wie Säuren, Laugen und Salzlösungen), hohen Temperaturen (50 – 300 °C) und hohen Drücken (500 – 5000 psi) fertig zu werden. Diese Komponenten müssen strenge Leistungsanforderungen erfüllen, darunter Härte (1400 – 2200 HV), Porosität (<0,01 %), Dichtungsleistung (Leckrate <10⁻⁶ mbar·L /s) und Korrosionsbeständigkeit (in Übereinstimmung mit NACE MR0175). Dieser Artikel kombiniert nationale Standards (wie GB/T 183762014, GB/T 38502015) und Branchenpraktiken, um den Sinterprozess, die Leistung, die Anwendung und die Auswahlempfehlungen für chemische Pumpenkörper und Dichtungen aus nickelbasiertem Hartmetall im Detail vorzustellen.

1. Sinterofenverfahren für Hartmetall auf Nickelbasis

Pumpenkörper und Dichtungen aus nickelbasiertem Hartmetall werden durch Hochtemperaturesintern hergestellt. Zu den Sinteröfen gehören Vakuumsinteröfen, Heißisostatisches Pressen (HIP) und Atmosphärensinteröfen. Die Prozessparameter sind für chemisch korrosive Umgebungen optimiert.

1.1 Sinterofentypen und Prozessparameter

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vakuum-Sinterofen:

Anwendung: Herstellung von Präzisionsdichtungen (zB Ø 5150 mm) und Pumpenteilen (zB Laufrad Ø 50300 mm).

Prozessparameter:

200600 °C, Heizrate 25 °C/min, Vakuumgrad 10^{-2} Pa, H₂-Flussrate 515 l/min, 24 Stunden, Entwachsungsrate >99,5 %.

Sintern: 1350–1450 °C, Heizrate 510 °C/min, Vakuumgrad 10^{-4} – 10^{-5} Pa, 24 Stunden warm halten.

Abkühlung: 1015 °C/min (Ar-Zwangskühlung) auf 100 °C.

Eigenschaften: Dichte 14,514,9 g/cm³, Härte 1400–2000 HV, Porosität <0,01 %.

Heißisostatischer Pressofen (HIP):

Anwendung: Herstellung von Hochleistungsdichtungen und Pumpenkörpern (z. B. Pumpengehäuse Ø 100–500 mm), Beseitigung von Mikroporen.

Prozessparameter:

Sintern: 1350–1450 °C, Heizrate 58 °C/min, Druck 100–150 MPa (Ar), 13 Stunden warm halten.

Nachbehandlung: 1300–1350 °C, 80–100 MPa, 12 Stunden, Porosität auf <0,001 % reduziert.

Abkühlung: 1520 °C/min (Hochdruck-Ar) auf 200 °C.

Eigenschaften: Dichte >99,9 % (14,815,0 g/cm³), Härte 1800–2200 HV, Festigkeit 2,22,8 GPa.

Atmosphären-Sinterofen:

Anwendung: Massenproduktion von Dichtungen (z. B. Gleitringdichtungen) und Pumpenteilen (z. B. Buchsen).

Prozessparameter:

Entwachsen: 200–500 °C, Heizrate 35 °C/min, H₂-Fluss 2050 l/min, O₂ <10 ppm, 35 Stunden.

Sintern: 1300–1400 °C, Heizrate 510 °C/min, H₂/Ar-Atmosphäre, 35 Stunden warm halten.

Abkühlung: 510 °C/min (N₂-Schutz), bis 100 °C.

Eigenschaften: Dichte >99 % (14,514,8 g/cm³), Härte 1400–1800 HV, Maßabweichung ±0,10,5 mm.

1.2 Prozessoptimierung

Temperaturregelung: PID+AI-Algorithmus, Genauigkeit ±3 °C, Gleichmäßigkeit ±5 °C, Reduzierung der thermischen Belastung um 30 %.

Entwachsen: Vakuum + H₂-Kombination, Restkohlenstoff <0,05 %, um eine Oxidation der Ni-Phase zu verhindern.

HIP: 1350 °C, 120 MPa, 2 Stunden Haltezeit, Dichteerhöhung um 0,5 %, Zyklus um 20 % verkürzt.

Atmosphäre: H₂-Reinheit >99,999 %, O₂ <5 ppm, Oxidationsrate um 50 % reduziert.

2. Leistung des chemischen Pumpenkörpers aus Nickel-Hartmetall

Die Körper chemischer Pumpen (wie etwa Gehäuse, Laufräder und Buchsen von Kreiselpumpen) bestehen aus Hartmetall auf Nickelbasis, um mit korrosiven Flüssigkeiten (wie etwa Schwefelsäure

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

und Salzsäure) und abrasiven Partikeln (Feststoffgehalt < 20 %) fertig zu werden.

2.1 Materialeigenschaften

Zusammensetzung: WC (85,94 %), Ni (6,15 %), Cr/Mo (0,52 %) verbessert die Korrosionsbeständigkeit.

Dichte: 14,515,0 g/cm³ (GB/T 38502015), Abweichung ±0,05 g/cm³.

Härte: 1400–2200 HV (GB/T 7997–2017), Abweichung ±3050 HV.

Festigkeit: Biegefestigkeit 2,02,8 GPa (GB/T 38512015).

Porosität: <0,01 % (Vakuum/Atmosphäre), <0,001 % (HIP, GB/T 51692013).

Korrosionsbeständigkeit: beständig gegen Schwefelsäure (50 %), Salzsäure (30 %), NaOH (40 %), gemäß NACE MR0175.

2.2 Pumpenleistung

Druck: 500–5000 psi, geeignet für Chemiepumpen mit mittlerem und hohem Druck.

Temperatur: 50–300 °C, beständig gegenüber Flüssigkeiten mit hoher Temperatur.

Verschleißfestigkeit: Verschleißverlust <0,05 mm³/h (ASTM G65), besser als Edelstahl 316L.

Oberflächenbehandlung: Ni/Cr-Galvanisierung oder DLC-Beschichtung, Reibungskoeffizient um 20 % reduziert, Verschleißfestigkeit um 30 % erhöht.

Lebensdauer: Dauerbetrieb >10.000 Stunden, Wartungszyklus >2 Jahre.

2.3 Typisch

Pumpengehäuse: Ø 100–500 mm, Wandstärke 520 mm, HIP-gesintert, hochdruckfest.

Laufgrad: Ø 50300 mm, komplex gekrümmte Oberfläche, Genauigkeit ±0,05 mm.

Buchse: Ø 20100 mm, Oberfläche Ra <0,4 µm, verschleißfest.

Empfehlung: Der von CTIA GROUP LTD hergestellte Chemiepumpenkörper aus nickelbasiertem Hartmetall wird im HIP-Sinterverfahren hergestellt, um eine hohe Dichte (> 99,9 %) und ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit zu gewährleisten und so die strengen Anforderungen der chemischen Industrie zu erfüllen.

3. Leistung von Hartmetalldichtungen auf Nickelbasis

Dichtungen (z. B. Gleitringdichtungen und O-Ringe) dienen der dynamischen und statischen Abdichtung von Chemiepumpen, um das Austreten korrosiver Flüssigkeiten zu verhindern.

3.1 Materialeigenschaften

Material: WC+Ni (Ni 81,2 %), HIP-Sinterung, Dichte >99,9 %.

Härte: 1800–2200 HV, Verschleißfestigkeit besser als SiC.

Festigkeit: 2,22,8 GPa, Bruchzähigkeit KIC 1012 MPa·m^{1/2}.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Korrosionsbeständigkeit: besser als Siliziumkarbid hinsichtlich Säure-, Laugen- und Salzlösungsbeständigkeit.

Oberfläche: hochglanzpoliert ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$), PTFE/DLC - Beschichtung, Reibungskoeffizient $< 0,1$.

3.2 Dichtleistung

Leckrate: $< 10^{-6} \text{ mbar}\cdot\text{L/s}$ (Heliumtest, 3000 psi).

Druck: Vakuum bis 5000 psi.

Temperatur: 50–300 °C, beständig gegenüber Flüssigkeiten mit hoher Temperatur.

Dynamische Dichtung: Drehzahl 1000–5000 U/min, Lebensdauer > 5000 Stunden.

Statische Dichtung: Kompressionsrate 1520 %, Lebensdauer > 10.000 Stunden.

3.3 Typisch

Gleitringdichtung: $\varnothing 10150 \text{ mm}$, Ebenheit $< 0,001 \text{ mm}$, hochdruckbeständig.

O-Ring: $\varnothing 5100 \text{ mm}$, selbstverstärkende Dichtung, korrosionsbeständig.

Balgdichtung: Hohe Elastizität, geeignet für dynamische Abdichtung.

Empfehlung: Die von CTIA GROUP LTD hergestellten Dichtungen und Dichtringe aus nickelbasiertem Hartmetall nutzen Vakuumsinter- und HIP-Technologie, um die Anforderungen von Chemiepumpen hinsichtlich hoher Korrosionsbeständigkeit und geringer Leckage zu erfüllen.

4. Anwendungsszenarien

Körper der Chemiepumpe:

Szenario: Transport von Schwefelsäure (50 %), Salzsäure (30 %) oder Flüssigkeiten mit Partikeln (Feststoffe $< 20 \%$), wie etwa Düngemittelfabriken und Raffinerien.

Leistung: Dichte $14.815,0 \text{ g/cm}^3$, Härte 1800–2200 HV, Lebensdauer > 10.000 Stunden.

Gehäuse: Kreiselpumpengehäuse ($\varnothing 200 \text{ mm}$), HIP-Sintern, 1400°C, 120 MPa, 4 Stunden, Porosität $< 0,001 \%$, Schwefelsäurekorrosionsbeständigkeit, 12.000 Betriebsstunden.

Dichtungen:

Szenario: Gleitringdichtungen einer Chemiepumpe, Rohrverbindungen (3000 psi, 100–200 °C).

Leistung: Härte 2000 HV, Leckrate $< 10^{-6} \text{ mbar}\cdot\text{L/s}$, dynamische Lebensdauer > 5000 Stunden.

Beispiel: Gleitringdichtung ($\varnothing 50 \text{ mm}$), HIP-Sintern, 1350°C, 150 MPa, 3 Stunden, Dichte $14,9 \text{ g/cm}^3$, NaOH-Beständigkeit 40 %, Lebensdauer 6000 Stunden.

5. Auswahlempfehlungen

Je nach Anwendungsumgebung:

Ätzende Flüssigkeiten (Säure/Base):

Empfohlen: HIP-gesinterte Pumpengehäuse/Dichtringe, Ni-Gehalt 1012 %, DLC-Beschichtung.

Grund: Beständig gegen Schwefelsäure/Salzsäure, Lebensdauer > 10.000 Stunden.

Abrasives Flüssigkeiten (mit Partikeln):

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Empfohlen: HIP-gesintertes Laufrad/Buchse, Ni 812 %, Härte 2000 HV.

Grund: Verschleißrate <0,05 mm³/h, Abriebfestigkeit.

Je nach Leistungsanforderungen:

Hohe Präzision (±0,05 mm): Vakuumsintern + HIP, Schrumpfungsabweichung <±0,5 %.

Hohe Korrosionsbeständigkeit: Ni 1015 %, Cr/Mo 0,52 %, Säure- und Laugenbeständigkeit für 5 Jahre.

Geringe Leckage: HIP-Sintern, Ra <0,2 μm, PTFE/DLC-Beschichtung.

Laut Kostenbudget:

Niedrige Kosten: Atmosphären-Sinterofen, 0,8 kWh/kg, geeignet für große Mengen an Dichtungen.

Hohe Leistung: HIP-Sinterofen, 2 kWh/kg, geeignet für wichtige Pumpenteile.

Auswahl des Sinterofens:

Kleine und mittlere Chargen (<50 kg/Ofen): Einkammer-Vakuum-Sinterofen mit hoher Flexibilität.

Große Chargen (>200 kg/Ofen): Mehrkammer-Vakuum-/Atmosphären-Sinterofen, Kostensenkung um 20 %.

Hohe Leistung: HIP-Sinterofen, Dichte >99,9 %, Porosität <0,001 %.

6. Optimierungsvorschläge

Sinterprozess:

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

Entparaffinierung: Vakuum (10⁻² Pa) + H₂ (10 L/min), Restkohlenstoff <0,05 %.

HIP: 1350 °C, 120 MPa, 2 Stunden, Festigkeit um 15 % erhöht.

Material:

Ni-Gehalt: 1012 %, Gleichgewicht zwischen Härte und Korrosionsbeständigkeit.

Beschichtung: PTFE/DLC, Reibungskoeffizient um 20 % reduziert, Verschleißfestigkeit um 30 % erhöht.

Spurenelemente: Cr/Mo 0,52 %, Säure- und Laugenbeständigkeit um 25 % erhöht.

Gerätewartung:

Online-Überwachung: Echtzeitüberwachung von Temperatur, Druck und O₂, wodurch die Ausfallrate um 20 % reduziert wird.

Komponentenprüfung: Heizelemente aus Molybdän/Wolfram sollten alle 4.000 Stunden gewartet werden, ihre Lebensdauer erhöht sich dadurch um 25 %.

7. Normen

GB/T 345052017: Maßgenauigkeit ±0,05 mm.

GB/T 183762014: Porosität <0,01 %.

GB/T 38502015: Dichte > 99 %.

GB/T 51692013: Porosität A02B00C00.

GB/T 38512015: Festigkeit 2,0–2,8 GPa .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 7997-2017: Härte 1400–2200 HV.

NACE MR0175: Säure- und Laugenkorrosionsbeständigkeit.

API 610: Leistungsanforderungen für Chemiepumpen.

8. Fazit

Nickelbasierte Hartmetall-Chemiepumpengehäuse und -dichtungen zeichnen sich durch hohe Dichte (> 99,9 %), Härte (1400–2200 HV), Korrosionsbeständigkeit (Beständigkeit gegen Säuren, Laugen/Salzlösungen) und geringe Leckagerate ($< 10^{-6}$ mbar·l /s) aus und erfüllen damit die strengen Anforderungen der chemischen Industrie. Vakuum-, HIP- und Atmosphären-Sinteröfen eignen sich für hochpräzise, leistungsstarke und Massenproduktion. Optimierte Prozesse (wie 1350 °C, 120 MPa, $H_2O_2 < 5$ ppm) verbessern die Produktleistung deutlich. Die CTIA GROUP LTD setzt bei der Herstellung von nickelbasierten Hartmetall-Dichtungen, Dichtringen und Chemiepumpengehäusen fortschrittliche Sintertechnologie ein und bietet hochzuverlässige Lösungen für den effizienten Betrieb chemischer Anlagen.

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