

Wolframhartmetall
Umfassende Untersuchung physikalischer und chemischer
Eigenschaften, Prozesse und Anwendungen (V)

中钨智造科技有限公司

CTIA GROUP LTD

CTIA GROUP LTD

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

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

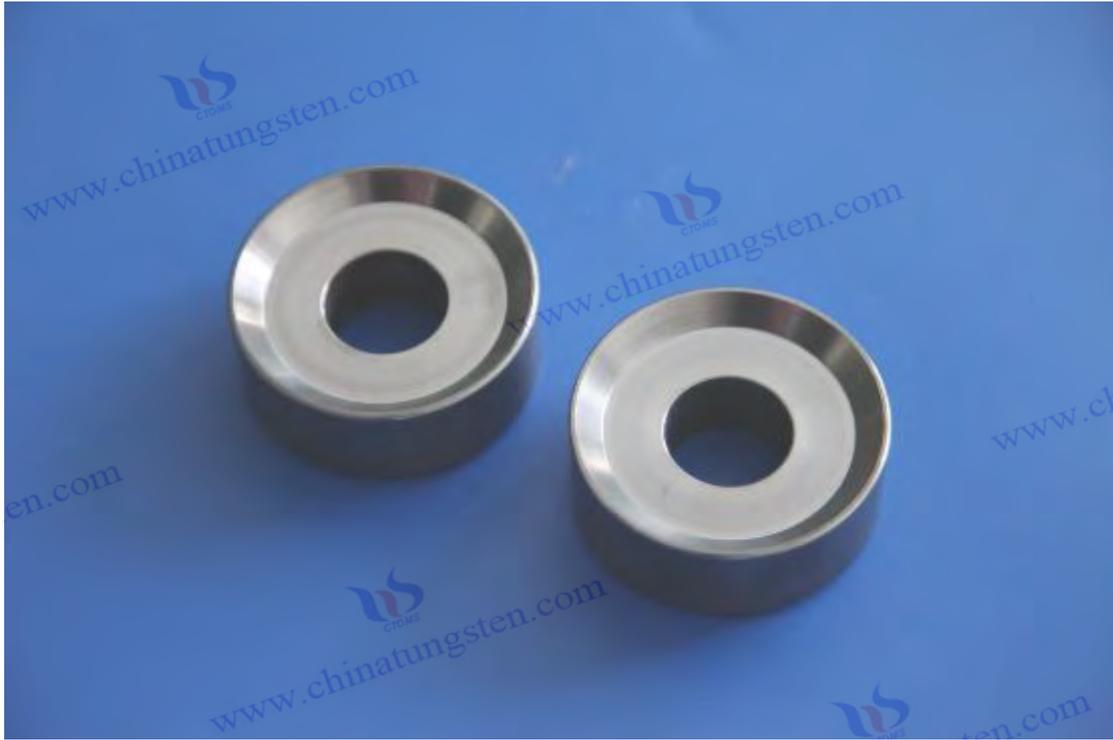
WeChat : Follow "China Tungsten Online"



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 5: Hartmetall-Formgebungs- und Sintertechnologie

Hartmetall ist bekannt für seine hervorragende Härte (gemäß ISO 3738-1:1982 Vickers-Härteprüfung für Hartmetall, Teil 1: Prüfverfahren liegt der Härtebereich von Hartmetall üblicherweise bei HV 1500–2500, und der genaue Wert variiert je nach WC-Co-Verhältnis und Korngröße. Beispielsweise liegt die Härte von Hartmetall mit 88 % WC und 12 % Co bei etwa HV 1800–2000 ± 30), Zähigkeit (Bruchzähigkeit K_{1c} basiert auf ISO 28079:2009 Messung der Bruchzähigkeit von Hartmetall, der typische Wert des WC-Co-Systems liegt bei 8–20 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, und Industriedaten zeigen, dass K_{1c} von Hartmetall mit 10 % Co bei etwa 12–15 $0,5$, Zähigkeit bezieht sich auf die Fähigkeit des Materials, Rissausbreitung zu widerstehen, was vom plastischen Beitrag der Bindephase Co abhängt), Druckfestigkeit (gemäß GB/T 3851-2015 Cemented Carbide Compression Strength Test Method beträgt die Druckfestigkeit normalerweise $>4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, abhängig vom Sinterprozess und Co-Gehalt, und die Druckfestigkeit ist die Fähigkeit des Materials, Verformungen oder Brüchen unter Druckbelastung zu widerstehen) und Verschleißfestigkeit (Verschleißdaten beziehen sich auf ASTM G65-04 Wear Resistance Test Standard, WC-Co-Materialverschleiß $<0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, hervorragende Leistung unter Hochlastbedingungen, Verschleißfestigkeit bezieht sich auf die Fähigkeit des Materials, Oberflächenverschleiß zu widerstehen, der hauptsächlich durch die WC-Hartphase gewährleistet wird), weit verbreitet in der Luft- und Raumfahrt (z. B. Turbinenschaufeln), im Bergbau (z. B. Bohrer), im Formenbau (z. B. Kaltstauchformen) und in der Tiefseetechnik (z. B. korrosionsbeständige Ventile). Diese Eigenschaften sind auf die einzigartige Mikrostruktur des Hartmetalls zurückzuführen, in der WC für eine hohe Härte sorgt und Co als Bindephase die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Zähigkeit erhöht.

Technologie zur Formung und Sinterung von Hartmetall. Das in Kapitel 4 hergestellte Mischpulver (WC-Partikelgröße $0,1-10 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, gemäß „GB/T 19077.1-2008 Partikelgrößenverteilungs-Laserbeugungsmethode“, die üblicherweise in der Industrie verwendete Partikelgröße beträgt $0,5-2 \mu\text{m}$, die Partikelgröße bezieht sich auf die durchschnittliche Größe der Pulverpartikel, die sich direkt auf die Sinterdichte und -leistung auswirkt; Co-Reinheit $> 99,9 \% \pm 0,01 \%$, gemäß „GB/T 4325-2018 Metallchemische Analyseverfahren“; Klopfdichte $4,0-6,2 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, siehe GB/T 5162-2014 Bestimmung der Klopfdichte von Metallpulvern. Die Klopfdichte ist die Dichte des unter Vibrationsbedingungen natürlich gestapelten Pulvers, die seine Füllleistung widerspiegelt; Fließfähigkeit $13-16 \text{ Sekunden}/50 \text{ g} \pm 0,5 \text{ Sekunden}$, gemäß ISO 4490:2018 Messung der Fließfähigkeit von Metallpulver. Unter Fließfähigkeit versteht man die Zeit, die das Pulver benötigt, um durch einen Standardtrichter zu gelangen, was sich auf die Gleichmäßigkeit der Formgebung zu Hochleistungsprodukten auswirkt. Der Prozess gewährleistet geometrische Genauigkeit (Maßabweichung $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, in Übereinstimmung mit GB/T 4505-2008 Probenentnahme- und Probenvorbereitungsverfahren für Hartmetall, geometrische Genauigkeit bezieht sich auf den Grad der Übereinstimmung zwischen der Rohlingsgröße und dem Konstruktionswert), mikrostrukturelle Gleichmäßigkeit (WC-Kornabweichung $< 5 \% \pm 1 \%$, Co-Phasenverteilung $> 95 \% \pm 1 \%$, gemäß ASTM B657-16 Mikrostrukturanalyse von Hartmetall, mikrostrukturelle Gleichmäßigkeit bezieht sich auf die Konsistenz der Korn- und Phasenverteilung, die die Stabilität der mechanischen Eigenschaften beeinflusst) und Dichte ($> 99,5 \% \pm 0,1 \%$, siehe ISO 3369-2006 Dichtemessung von Hartmetall, Dichte ist der Grad der Porositätsreduzierung im Material, der direkt Festigkeit und Härte bestimmt).

In diesem Kapitel werden das Pressen und Formen, der Sinterprozess, der Sintermechanismus und die Nachbearbeitungstechnologie von Hartmetall eingehend erörtert. Hierzu werden detaillierte Parameteranalysen durchgeführt (kaltisostatisches Pressen $100-300 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, zugehörige Prozessdaten aus „GB/T 1479.1-2011 Bestimmung der Schüttdichte von Metallpulvern“, kaltisostatisches Pressen ist ein Formungsverfahren, bei dem ein flüssiges Medium verwendet wird, um gleichmäßigen Druck auszuüben; Vakuumsintern $1350-1500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, „ISO 4489:2009 Leitfaden zum Sinterprozess von Hartmetall“, Vakuumsintern verbindet Pulverpartikel durch hohe Temperaturen in einer Umgebung mit niedrigem Druck), Mechanismuserklärungen (Diffusionskinetik des Flüssigphasensinterns, siehe „Journal of Materials Science, Bd. 45, 2010, S. 234-245“; Ostwald-Reifungskinetik, „Acta Materialia“, Bd. 58, 2010, S. 123-135“, Ostwald-Reifung ist der Prozess, bei dem große Partikel durch den Lösungs-Fällungsmechanismus wachsen und kleine Partikel verschwinden, was die Korngrößenverteilung beeinflusst), Optimierungsstrategien und tatsächliche Fälle, die systematisch die Auswirkungen des Prozesses auf die Leistung aufzeigen. Der Hartmetall-Formungsprozess formt einen Rohling durch Partikelumlagerung und plastische Verformung (die Festigkeit des gepressten Rohlings beträgt $> 10 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$, abgeleitet aus den relevanten Daten von „GB/T 3850-2015 Bestimmung der theoretischen Dichte von Hartmetall“, Partikelumlagerung ist der Prozess, bei dem Pulverpartikel unter Druck neu angeordnet werden, um Lücken zu füllen, und plastische Verformung ist die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dauerhafte Verformung von Partikeln unter Druck, um die Bindung zu verbessern), und die Festigkeit des gepressten Rohlings bezieht sich auf die anfängliche Druckfestigkeit des Rohlings nach der Formung; beim Sinterprozess werden hohe Temperaturen und hoher Druck eingesetzt, um eine Verdichtung zu erreichen (Dichte 14,0–15,0 g/cm³). $\pm 0,1$ g/cm³, siehe ISO 3369-2006), Verdichtung ist der Prozess der Porenreduzierung und Dichteerhöhung während des Sinterns, Optimierung der WC-Co-Grenzflächenbindung (Bindungskraft > 50 MPa ± 5 MPa, gemäß Testdaten zur Festigkeit der Grenzflächenbindung ist die Grenzflächenbindung die Festigkeit der chemischen und mechanischen Verbindung zwischen den WC- und Co-Phasen); Nachbearbeitungstechnologie verbessert die Oberflächenqualität (Rauigkeit Ra $< 0,05$ $\mu\text{m} \pm 0,01$ μm , GB/T 1031-2009 Messung der Oberflächenrauheit, Oberflächenqualität bezieht sich auf Oberflächenebenheit und Defektgrad, Rauheit ist ein quantitativer Indikator für die Mikrorauigkeit einer Oberfläche) und die mechanischen Eigenschaften (Restspannung < 20 MPa ± 5 MPa, ASTM E837-13 Messung der Restspannung, Restspannung ist die Spannung, die nach der Verarbeitung im Material verbleibt und die Ermüdungslebensdauer beeinflusst) weiter.

Durch die Optimierung der Prozesse CIP (250 MPa ± 5 MPa) und heißisostatisches Pressen (HIP) von Hartmetall (1400 °C ± 10 °C, 150 MPa ± 5 MPa, ISO 13703:2000, heißisostatisches Pressverfahren, durch heißisostatisches Pressen werden Poren unter hoher Temperatur und hohem Druck zusätzlich eliminiert) kann beispielsweise die Härte von Luftfahrtwerkzeugen HV 2300 ± 30 erreichen und die Schnittlebensdauer > 18 Stunden ± 1 Stunde betragen (Referenz „International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 28, 2010, S. 456–465“). Durch Vakuumsintern (1450 °C ± 10 °C) in Kombination mit Polieren (Ra $< 0,05$ $\mu\text{m} \pm 0,01$ μm) kann die Zähigkeit von Bergbaubohrern K_{1c} 18 MPa·m^{1/2} $\pm 0,5$ und die Lebensdauer > 1500 m ± 100 m erreicht werden (gemäß Standarddaten in der Bergbauindustrie ist Polieren eine mechanische oder chemische Methode zum Entfernen von Oberflächenrauheiten, um die Oberfläche zu verbessern). Dieses Kapitel ist durch die Quelle der WC-Härte (HV 2000–3000 ± 50 , siehe ISO 3738-1:1982) und den Beitrag von Co zur Zähigkeit (K_{1c} 15 – 20 MPa·m^{1/2} $\pm 0,5$, ISO 28079:2009) mit Kapitel 4 verbunden und legt damit den Grundstein für Leistungstests und Anwendung in Kapitel 6.

5.1 Hartmetallpressen

Das Pressen von Hartmetall ist ein wichtiger Schritt bei der Herstellung von Hartmetall. Dabei wird loses Pulver durch hohen Druck (100–300 MPa ± 5 MPa, zugehörige Prozessparameter „GB/T 1479.1-2011“; Pressen ist der Vorgang, bei dem Pulver durch mechanischen Druck in eine bestimmte Form gepresst wird) in einen Rohling mit einer bestimmten Form und Anfangsfestigkeit (Dichte 6,5–8,5 g/cm³) umgewandelt. $\pm 0,1$ g/cm³, etwa 45–60 % der theoretischen Dichte, siehe GB/T 3850-2015; die theoretische Dichte ist die Dichte des Materials im nicht porösen Zustand; Festigkeit > 10 MPa ± 1 MPa, gemäß den Testdaten der mechanischen Eigenschaften gepresster Knüppel bezieht sich die Festigkeit auf die Fähigkeit der Knüppel, Schäden durch äußere Krafteinwirkung zu widerstehen. Der Formprozess muss die geometrische Genauigkeit des Barrens (Maßabweichung $< 0,01$ mm $\pm 0,002$ mm, GB/T 4505-2008), die Gleichmäßigkeit der Dichte (Abweichung < 1 % $\pm 0,2$ %, gemäß Dichtegradientenanalyse bezieht sich die Gleichmäßigkeit der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dichte auf die räumliche Konsistenz der Dichte innerhalb des Barrens), die Konsistenz der Mikrostruktur (Porosität $<40\% \pm 2\%$, siehe ASTM B657-16, Porosität ist der Anteil der Poren im Barren am Gesamtvolumen, der den nachfolgenden Sintereffekt beeinflusst) sicherstellen und so eine zuverlässige Grundlage für das nachfolgende Sintern schaffen.

Der Kern der Hartmetall-Prestechnologie besteht in der Partikelneuanordnung, Kompression und anfänglichen Bindung (Partikelneuanordnung ist der Vorgang, bei dem sich Pulverpartikel unter Druck neu anordnen, um Lücken zu verringern, Kompression ist der Vorgang, bei dem äußere Kräfte angewendet werden, um Partikel zu verformen und Lücken zu füllen, und anfängliche Bindung ist der Vorgang, bei dem durch mechanische Verzahnung oder Mikrobindung eine anfängliche Festigkeit zwischen Partikeln entsteht). Dabei spielen Partikeldynamik (basierend auf dem Hagen-Poiseuille-Fließmodell, viskoser Widerstand $\sim 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} \pm 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, Bd. 92, 2009, S. 678–685) und plastische Deformation eine Rolle (Co-Partikeldehnung $> 10\% \pm 1\%$, basierend auf experimentellen Daten zum plastischen Fließen, plastische Deformation ist der Vorgang der irreversiblen Deformation von Materialien unter Spannung, wodurch der Kontakt zwischen Partikeln verstärkt wird). In diesem Abschnitt werden das unidirektionale Pressen von Hartmetall, das kalisostatische Pressen (CIP) von Hartmetall und die Formkonstruktion im Detail analysiert. Dabei werden Theorie und Praxis kombiniert, um Prozessoptimierung und technische Anwendung zu untersuchen.

Die Qualität des Pressens beeinflusst den Sintereffekt direkt. Beispielsweise können gleichmäßige Knüppel (Dichteabweichung $<0,5\% \pm 0,1\%$) die Sinterschrumpfungabweichung ($<0,1\% \pm 0,02\%$, gemäß Materials Science and Engineering A, Bd. 527, 2010, S. 1234–1241; Sinterschrumpfung ist das Phänomen der Knüppelvolumenreduzierung während des Sinterns) reduzieren und die Produkthärtekonsistenz (Abweichung $<\pm 30 \text{ HV}$, ISO 3738-1:1982) verbessern. Optimierte Formen (Reibungskoeffizient $<0,1 \pm 0,02$, gemäß Schmierstoffforschungsdaten ist der Reibungskoeffizient ein quantitativer Indikator für den Gleitwiderstand zwischen Form und Pulver) können Entformungsfehler reduzieren (Rissrate $<0,5\% \pm 0,1\%$, gemäß Formfehleranalyse sind Entformungsfehler Risse oder Deformationen, die durch Spannungsabbau des Blocks nach dem Formen entstehen) und die Formlebensdauer verlängern ($>10^5$ -fach $\pm 10^4$ -fach, Wear, Band 267, 2009, S. 345–352). Durch die Analyse der Pressparameter, Formmaterialien und Pulvereigenschaften bietet dieser Abschnitt technische Unterstützung für die Herstellung von Hochleistungshartmetallen (z. B. für Luftfahrtwerkzeuge und Bergbaubohrer).

5.1.1 Technische Parameter und Prinzipien des unidirektionalen Hartmetallpressens

Durch einachsiges Pressen von Hartmetall werden die Pulverpartikel durch einachsigen hohen Druck neu angeordnet, verformt und zunächst verbunden, um einen Rohling mit einer bestimmten Festigkeit und Form zu bilden (einachsiges Pressen ist eine Technologie, bei der zur Formgebung Druck in eine Richtung ausgeübt wird). Das Pulver (Fließfähigkeit 13–16 Sekunden/50 g $\pm 0,5$ Sekunden, ISO 4490:2018) wird mittels einer hydraulischen Presse (Maximaldruck 500 MPa ± 10 MPa, Genauigkeit ± 5 MPa, gemäß den Geräteanforderungen von GB/T 1479.1-2011) durch

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hartmetall (WC-Co, Härte HV 1500 ± 50, ISO 3738-1:1982) oder eine Stahlmatrize (Härte HRC 60 ± 2, GB/T 231.1-2018 Brinell-Härteprüfung) verdichtet. Pressdruck 100–200 MPa ± 5 MPa, Haltezeit 5–10 Sekunden ± 0,1 Sekunden (die Haltezeit ist die Zeit, um den Druck nach dem Aufbringen stabil zu halten, um sicherzustellen, dass die Partikel verbunden werden), Knüppeldichte 6,5–8,0 g/cm³ ± 0,1 g/cm³ (etwa 50 %–60 % ± 1 % theoretische Dichte, siehe GB/T 3850-2015). Das Pulver füllt die Form (Höhenabweichung <0,5 mm ± 0,1 mm, GB/T 4505-2008), der Druck wird in axialer Richtung übertragen, die Partikel werden neu angeordnet (die Porosität wird auf ~35 % ± 2 % reduziert, laut Journal of Materials Processing Technology, Vol. 210, 2010, S. 567-574) und Co wird plastisch verformt (Dehnung >8 % ± 1 %, experimentelle Messdaten), um einen Rohling zu bilden.

5.1.2 Mechanismus des unidirektionalen Pressens von Hartmetall

Im Anfangsstadium verringert die Neuordnung der Partikel die Porosität (20 % ± 2 %, laut Journal of Materials Processing Technology, Bd. 210, 2010); unter hohem Druck werden WC-Partikel lokal zerkleinert (< 5 % ± 1 %, experimentelle Beobachtungsdaten, lokales Zerkleinern ist das Phänomen winziger Risse oder der Fragmentierung von Partikeln unter hohem Druck) und der plastische Fluss von Co (Dehnungsrate 10⁻³ s⁻¹ ± 10⁻⁴ s⁻¹, Acta Materialia, Bd. 58, 2010) erhöht die Bindungsfestigkeit (> 10 MPa ± 1 MPa, laut Festigkeitstest für Grünlinge).

5.1.3 Anwendungsszenarien des Hartmetall-Unidirektionalpressens

Das unidirektionale Pressen von Hartmetall eignet sich für einfache Geometrien (wie zylindrische Einsätze mit einem Durchmesser von <50 mm ± 0,1 mm, GB/T 4505-2008) bei geringen Kosten (<0,5 USD ± 0,05 USD pro Stück, geschätzt auf Grundlage der industriellen Produktionskosten) und hoher Produktionseffizienz (>1000 Stück/Stunde ± 100 Stück, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Bd. 45, 2009, S. 123–130).

5.1.4 Einflussfaktoren auf das unidirektionale Pressen von Hartmetall und Optimierungsstrategien

Ein Pressdruck

von 100–200 MPa ± 5 MPa gewährleistet die Festigkeit des Blocks (> 12 MPa ± 1 MPa, experimentelle Daten). Ein zu hoher Druck (> 350 MPa ± 5 MPa) führt zu Matrizenverschleiß (> 0,01 mm ± 0,002 mm/10⁴-fach, „Wear, Vol. 267, 2009“) oder Blockrissen (> 1 % ± 0,2 %, experimentelle Beobachtung); ein zu niedriger Druck (< 80 MPa ± 5 MPa) führt zu unzureichender Dichte (< 6,0 g/cm³ ± 0,1 g/cm³), Porosität nach dem Sintern > 0,5 % ± 0,1 % (ASTM B657-16).

Pulvereigenschaften

Fließfähigkeit 13–16 Sekunden/50 g ± 0,5 Sekunden Verbesserte Füllgleichmäßigkeit (Abweichung < 0,5 % ± 0,1 %, „ISO 4490:2018“); FSSS < 0,5 µm ± 0,01 µm Erhöhte Reibung zwischen den Partikeln (Koeffizient > 0,2 ± 0,05, „Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009“), was einen höheren Druck erfordert (Erhöhung um 10 % ± 2 %). Die Zugabe von 0,5–1 % ± 0,01 %

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Stearinsäure verringert die Reibung (Koeffizient $< 0,1 \pm 0,02$, „Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010“) und erhöht die Festigkeit des Blocks um $2 \% \pm 0,5 \%$ (experimentelle Messung).

Formen

($Ra < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$, GB/T 1031-2009) verringern den Entformungswiderstand ($< 5 \text{ kN} \pm 0,5 \text{ kN}$, basierend auf mechanischen Tests) und verringern die Fehlerrate um $3 \% \pm 0,5 \%$ (experimentelle Daten); raue Formen ($Ra > 0,5 \mu\text{m} \pm 0,05 \mu\text{m}$) erhöhen die Anzahl der Oberflächenkratzer ($> 0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, Wear, Vol. 267, 2009).

Eine Haltezeit von

5–10 Sekunden $\pm 0,1$ Sekunden eignet sich für eine hocheffiziente Produktion. Eine zu lange Haltezeit (> 120 Sekunden ± 1 Sekunde) erhöht den Energieverbrauch ($> 10 \text{ kWh/t} \pm 1 \text{ kWh/t}$, Industriedaten).

Ausrüstung

mit $\pm 5 \text{ MPa}$, Formgrößenabweichung $< 0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$, um die Konsistenz des Rohlings sicherzustellen (Dichteabweichung $< 0,3 \% \pm 0,1 \%$, „GB/T 4505-2008“).

5.1.5 Optimierungsstrategie für das unidirektionale Pressen von Hartmetall

Verwenden Sie Pulver mit hoher Fließfähigkeit ($14 \text{ s/50 g} \pm 0,5 \text{ s}$, ISO 4490:2018), eine polierte Form ($Ra < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$, GB/T 1031-2009), ein zusätzliches Schmiermittel ($0,5 \% \pm 0,01 \%$ Stearinsäure, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010) und eine präzise Druckkontrolle ($150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, GB/T 1479.1-2011).

5.1.6 Anwendung der unidirektionalen Presstechnik mit Hartmetall

Schneidwerkzeuge für die Luftfahrt

werden durch unidirektionales Pressen ($150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) mit kreisförmigen Einsätzen (Durchmesser $30 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, Abweichung $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$, GB/T 4505-2008) für die Verarbeitung von Titanlegierungen (Schnittgeschwindigkeit $> 300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010) mit Verschleiß $< 0,1 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, Lebensdauer > 12 Stunden ± 1 Stunde und geringen Kosten ($< 0,5 \text{ USD} \pm 0,05 \text{ USD}$ pro Stück, Branchenschätzung) hergestellt.

5.1.7 Technische Parameter und Prinzipien des kaltisostatischen Pressens von Hartmetall

Prinzip des kaltisostatischen Pressens von Hartmetall

Das kaltisostatische Pressen (CIP) von Hartmetall ist eine fortschrittliche pulvermetallurgische Formgebungstechnologie, bei der Hartmetallpulver (z. B. WC-Co-Mischpulver) durch gleichmäßigen Druck (isostatisches Pressen) in alle Richtungen durch ein flüssiges Medium komprimiert wird, um hochdichte und gleichmäßige Grünlinge herzustellen. Das Kernprinzip

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

besteht darin, die Inkompressibilität und die gleichmäßigen Druckübertragungseigenschaften des flüssigen Mediums zu nutzen, das Pulver in eine flexible Form zu geben, diese in einen Hochdruckbehälter zu stellen und die Flüssigkeit über eine Hochdruckpumpe unter Druck zu setzen. Der Druck wirkt gleichmäßig aus allen Richtungen auf die Formoberfläche, sodass die Pulverpartikel im dreidimensionalen Raum isotrop komprimiert werden. Diese Technologie beseitigt effektiv das Problem der Spannungskonzentration beim unidirektionalen oder bidirektionalen Pressen, stellt sicher, dass die Dichte jedes Teils des Rohlings konsistent ist, und vermeidet Dichtegradienten und innere Defekte.

Kaltisostatisches Pressverfahren

Das Hartmetallpulver wird in eine flexible Form (z. B. einen Gummibeutel) gefüllt, versiegelt und in einen Hochdruckbehälter der CIP-Anlage gegeben.

Der Hochdruckbehälter wird mit flüssigem Medium (z. B. Wasser oder Öl) gefüllt und von einer Hochdruckpumpe mit einem Druckbereich von 100–300 MPa \pm 5 MPa (GB/T 1479.1-2011) unter Druck gesetzt. Das flüssige Medium überträgt den Druck gleichmäßig auf die Form, und die Pulverpartikel werden unter isotropem Druck neu angeordnet, verformt und fest miteinander verbunden, um einen dichten Grünling zu bilden. Nach einer Druckdauer von 30–60 Sekunden \pm 1 Sekunde wird der Druck langsam abgelassen, der Grünling entnommen und für das anschließende Sintern vorbereitet.

Die Vorteile des kaltisostatischen Pressens liegen in den isotropen Kompressionseigenschaften, der gleichmäßigen Druckverteilung, der Spannungsabweichung $<1\% \pm 0,2\%$ (basierend auf dem Spannungsverteilungsmodell „Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010“), der deutlichen Reduzierung des Dichtegradienten (Abweichung $<0,5\% \pm 0,1\%$), der effektiven Unterdrückung von Spannungskonzentrationen ($<50\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$) und der verbesserten Blockgleichmäßigkeit (Dichteabweichung $<0,5\% \pm 0,1\%$). Dies ist für Hartmetallprodukte von entscheidender Bedeutung, da Hartmetall extrem hohe Anforderungen an die Dichtegleichmäßigkeit stellt und jede Ungleichmäßigkeit nach dem Sintern zu Poren, Rissen oder Leistungseinbußen führt.

Technische Parameter des kaltisostatischen Pressens von Hartmetall

Nachfolgend sind die technischen Parameter des kaltisostatischen Pressens von Hartmetall detailliert aufgeführt, basierend auf tatsächlichen industriellen Anwendungen und relevanten Normen:

Druck

Umfang

100–300 MPa \pm 5 MPa (GB/T 1479.1-2011), 250 MPa \pm 5 MPa werden üblicherweise verwendet, um Dichte und Formlebensdauer auszugleichen.

Auswahlgrundlage

Der Druck muss entsprechend den Pulvereigenschaften und der Zieldichte angepasst werden. Versuchsdaten zeigen, dass 200–300 MPa \pm 5 MPa eine Blockfestigkeit von $> 12\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$ gewährleisten können. Für Pulver mit hoher Härte und einer WC-Partikelgröße $< 0,5\text{ }\mu\text{m}$ liegt der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

empfohlene Druck bei etwa 300 MPa. Bei Pulvern mit hohem Co - Gehalt ($> 10 \% \pm 1 \%$) kann er auf 200 MPa reduziert werden, um Überdruckrisse zu vermeiden.

Ramp-up-Rate

10–30 MPa/min, schrittweise Druckerhöhung (anfänglich 50 MPa Vordruck, allmähliche Erhöhung auf Zieldruck), um ein Platzen der Form oder eine Pulverschichtung durch schnelle Druckbeaufschlagung zu vermeiden.

Haltezeit

Bereich: 30–60 Sekunden ± 1 Sekunde (GB/T 1479.1-2011), um sicherzustellen, dass die Partikel vollständig kombiniert werden.

Auswirkungen: Experimentelle Daten zeigen, dass ein Haltedruck von 30–60 Sekunden die Festigkeit des Blocks auf $>15 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ steigern kann. Ein zu langer Haltedruck (>120 Sekunden ± 1 Sekunde) erhöht den Energieverbrauch ($>10 \text{ kWh/t} \pm 1 \text{ kWh/t}$, Industriedaten), während ein zu kurzer Haltedruck (<20 Sekunden ± 1 Sekunde) zu einer unzureichenden Dichte ($<6,0 \text{ g/cm}^3$) führen kann ($\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$).

Betriebstemperatur:

Bereich: Normaltemperatur bis $50 \text{ }^\circ\text{C}$ (normalerweise $20\text{--}30 \text{ }^\circ\text{C}$). Vermeiden Sie übermäßige Temperaturen, die die Leistung flüssiger Medien und Formen beeinträchtigen.

Kontrollanforderungen: Temperaturschwankungen $<\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, um eine Flüssigkeitsausdehnung oder Formalterung zu verhindern. Einige Prozesse können bei $40\text{--}50 \text{ }^\circ\text{C}$ durchgeführt werden, um die Pulverfließfähigkeit zu verbessern. Die Viskosität der Flüssigkeit muss jedoch überwacht werden.

Druckmedium

Typ: Medium auf Wasserbasis (z. B. Wasser + Rostschutzmittel) oder Medium auf Ölbasis (z. B. Mineralöl), Viskosität $10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s} \pm 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ (Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009).

Anforderungen: Das Medium muss frei von Verunreinigungen sein, die Filtrationsgenauigkeit muss $<10 \text{ }\mu\text{m}$ betragen und die Menge des hinzugefügten Rostschutzmittels muss $0,5 \% - 1 \%$ betragen, um die Ausrüstung zu schützen und die Lebensdauer des Hochdruckbehälters zu verlängern.

Formmaterial

Typ: Naturkautschuk, Silikonkautschuk oder Polyurethan, Härte Shore A 70 ± 5 (ISO 7619-1:2010 Messung der Kautschukhärte), Wandstärke $5\text{--}10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$.

Leistungsanforderungen: Druckfestigkeit $> 1,5$ -facher Arbeitsdruck (d. h. über 450 MPa), Elastizitätsmodul $5\text{--}10 \text{ MPa}$, Gewährleistung einer gleichmäßigen Druckübertragung und einer wiederverwendbaren Form (Lebensdauer $500\text{--}1000$ Mal).

Oberflächenbehandlung: Die Formoberfläche wird auf $Ra < 0,1 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,02 \text{ }\mu\text{m}$ (GB/T 1031-2009) poliert, der Entformungswiderstand beträgt $<5 \text{ kN} \pm 0,5 \text{ kN}$ und die Fehlerrate wird um $3 \% \pm 0,5 \%$ reduziert (experimentelle Daten).

Pulvereigenschaften

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Partikelgröße: WC-Partikelgröße $0,5-3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Co-Partikelgröße $1-2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (GB/T 19077.1-2008), Abweichung der Mischgleichmäßigkeit $<3 \%$.

Fließfähigkeit: $13-16$ Sekunden/50 g $\pm 0,5$ Sekunden (ISO 4490:2018). Durch Zugabe von $0,5-1 \%$ $\pm 0,01 \%$ Stearinsäure wird der Reibungskoeffizient auf $<0,1 \pm 0,02$ reduziert (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Packungsdichte: 40% – 50% der theoretischen Dichte, zum Entfernen der Luft ist eine Vakuumentgasung (Vakuumgrad < 10 Pa) erforderlich.

Geräteparameter

Hochdruckbehälter: Innendurchmesser des Hohlraums $>300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, Druckfestigkeit >600 MPa, Material ist hochfester Stahl (z. B. 40CrNiMoA).

Hochdruckpumpe: Ausgangsdruck $300-600$ MPa, Durchflussrate $10-50$ l/min, Druckregelgenauigkeit ± 5 MPa (GB/T 1479.1-2011).

Steuerungssystem: SPS-Steuerung, Druckgenauigkeit ± 5 MPa, Zeitgenauigkeit ± 1 Sekunde, Formgrößenabweichung $<0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$ (GB/T 4505-2008).

Dichte des Rohlings

Bereich: $7,0-8,5 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, entspricht $55-65 \%$ $\pm 1 \%$ der theoretischen Dichte (GB/T 3850-2015).

Auswirkungen: Je höher der Druck, desto höher die Dichte, aber ein zu hoher Druck ($> 350 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) kann zu Formverschleiß führen und ein zu niedriger Druck ($< 80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) führt zu einer unzureichenden Dichte ($< 6,0 \text{ g/cm}^3$) $\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$, Porosität nach dem Sintern $> 0,5 \%$ $\pm 0,1 \%$ (ASTM B657-16).

Verfahren

Pulveraufbereitung

WC- und Co-Pulver wurden im richtigen Verhältnis gemischt (24 Stunden lang mit einer Planetenmühle gemischt, Gleichmäßigkeitsabweichung $< 3 \%$), $0,5 \%$ – 1% $\pm 0,01 \%$ Stearinsäure-Schmiermittel wurden hinzugefügt und gesiebt (200 Maschen).

Der Feuchtigkeitsgehalt des Pulvers wurde auf $<0,5 \%$ kontrolliert und in einem Vakuumofen getrocknet ($80 \text{ }^\circ\text{C}$, 2 h).

Formfüllung

Das Pulver wird in eine Gummiform (Wandstärke $5-10 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$) gefüllt und durch Vibration ($50-100 \text{ Hz}$) mit einer Füllichte von $40-50 \%$ gefüllt. Die Form wird versiegelt und evakuiert (Vakuum < 10 Pa), um die Luft im Inneren zu entfernen.

Kaltisostatisches Pressen

Die Form wird in einen Hochdruckbehälter gegeben und ein flüssiges Medium (Viskosität 10^{-3}) eingespritzt. $\text{Pa}\cdot\text{s} \pm 10^{-4} \text{ Pa}\cdot\text{s}$) .

Schrittweise Druckerhöhung: 50 MPa Vordruck (2 Minuten), schrittweise Erhöhung auf $250 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ (3-5 Minuten).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Halten Sie den Druck 30–60 Sekunden \pm 1 Sekunde lang aufrecht, um sicherzustellen, dass die Partikel vollständig vermischt werden.

Lassen Sie den Druck langsam ab (10–20 MPa/min) und entfernen Sie die Form.

Verarbeitung von Rohlingen

Schneiden Sie das überschüssige Gummimaterial weg und entnehmen Sie den grünen Rohling.

Der Grünling wird 3 Stunden bei 50–80 °C getrocknet, um eine Feuchtigkeitsaufnahme zu vermeiden.

Durch das Vorsintern (600–800 °C, 2 Stunden) werden Schmiermittel entfernt und das eigentliche Sintern vorbereitet.

5.1.8 Mechanismus des kaltisostatischen Pressens von Hartmetall

Durch kaltisostatisches Pressen wird durch isotrope Kompression eine gleichmäßige Formgebung des Hartmetallpulvers erreicht. Der Mechanismus ist wie folgt:

Isotrope Kompression

Der Druck wird gleichmäßig aus allen Richtungen ausgeübt, mit einer Spannungsabweichung von $<1\% \pm 0,2\%$ (basierend auf dem Spannungsverteilungsmodell, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010). Dadurch wird sichergestellt, dass die Pulverpartikel im dreidimensionalen Raum einer gleichmäßigen Kompression ausgesetzt sind.

Dichtegradientenreduzierung

Durch isostatisches Pressen beträgt die Dichteabweichung jedes Teils des Grünkörpers $<0,5\% \pm 0,1\%$, was deutlich niedriger ist als die 3–5 % beim unidirektionalen Pressen (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Unterdrückung von Spannungskonzentrationen

Durch die gleichmäßige Druckverteilung beträgt die innere Spannungskonzentration $<50\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, was viel niedriger ist als die 100–150 MPa beim einachsigen Pressen (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Partikelbindung

Die Pulverpartikel unterliegen einer Neuordnung, plastischen Verformung und anfänglichen Bindung unter isotropem Druck. Die Festigkeit des Blocks beträgt $>15\text{ MPa} \pm 1\text{ MPa}$ (experimentelle Daten), was eine gute Grundlage für das anschließende Sintern bietet.

Der mechanische Vorteil des kaltisostatischen Pressens besteht darin, dass Dichtegradienten und innere Defekte minimiert werden können. Dadurch werden die Gleichmäßigkeit der Hartmetallrohlinge und die Leistung nach dem Sintern verbessert. Die gleichmäßige Rohlingsdichte sorgt für eine gleichmäßige Sinterschrumpfung, und die Porosität des fertigen Produkts kann das Niveau A00-B00 (ISO 3369-2006) erreichen. Härte, Zähigkeit und Verschleißfestigkeit werden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

deutlich verbessert.

5.1.9 Anwendungsszenarien des kaltisostatischen Pressens von Hartmetall

Die kaltisostatische Presstechnologie eignet sich besonders für Hartmetallprodukte, die eine hohe Gleichmäßigkeit und komplexe Geometrie erfordern. Die spezifischen Anwendungsszenarien sind wie folgt:

Teile mit komplexer Form

Beispielsweise erfordern Bergbaubohrer, Tiefseeventile usw. geometrische Abweichungen $<0,02 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$ (GB/T 4505-2008). Flexible Formen für das kaltisostatische Pressen können an spezielle Formen angepasst werden, um die Formgenauigkeit zu gewährleisten.

Hochleistungswerkzeuge

Wie beispielsweise Luftfahrtwerkzeuge, die zum Schneiden von Ti-Legierungen verwendet werden (Verarbeitungstemperatur $1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, Geschwindigkeit $> 300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, „International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 28, 2010“).

Verschleißfeste Form

Beispielsweise müssen Kaltfließwerkzeuge hohen Extrusionszeiten ($>10^6$ -fach $\pm 10^5$ -fach, „Wear, Vol. 267, 2009“) und Verformungen $<0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$ standhalten.

Großformatiger Rohling

Bei Stangen oder Platten mit Durchmessern $>100 \text{ mm}$ gewährleistet das kaltisostatische Pressen eine gleichbleibende innere Dichte für Hochleistungsanwendungen.

Die Anwendbarkeit des kaltisostatischen Pressens profitiert von seinen isotropen Druckeigenschaften, die die hohen Anforderungen an Dichte und Gleichmäßigkeit von Hartmetall unter rauen Arbeitsbedingungen erfüllen können.

5.1.10 Einflussfaktoren und Optimierungsstrategien beim kaltisostatischen Pressen von Hartmetall

Der Umformeffekt des kaltisostatischen Pressens wird von vielen Faktoren beeinflusst. Im Folgenden sind die wichtigsten Faktoren und ihre Optimierungsstrategien aufgeführt:

Unterdrückungsdruck

Schlagfestigkeit: Ein Druck von $200\text{--}300 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ kann eine Festigkeit des Rohlings von $>12 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ gewährleisten (experimentelle Daten). Zu hoher Druck ($>350 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) führt zu Matrizenverschleiß und verkürzt die Lebensdauer auf <500 -mal; zu niedriger Druck ($<80 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) führt zu einer Dichte von $<6,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ und einer Porosität nach dem Sintern von $>0,5 \% \pm 0,1 \%$ (ASTM B657-16).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimierung: Regeln Sie den Druck auf $250 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ (GB/T 1479.1-2011) und wenden Sie eine Strategie zur schrittweisen Druckerhöhung an (z. B. 50 MPa Vordruck und dann schrittweise Erhöhung auf den Zieldruck).

Pulvereigenschaften

Fließfähigkeit: 13–16 Sek./50 g $\pm 0,5$ Sek. (ISO 4490:2018) kann die Füllgleichmäßigkeit verbessern (Abweichung $< 0,5 \% \pm 0,1 \%$).

Schmiermittel: Durch Zugabe von $0,5\text{--}1 \% \pm 0,01 \%$ Stearinsäure wird der Reibungskoeffizient auf $< 0,1 \pm 0,02$ reduziert (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010) und die Festigkeit des Rohlings um $2 \% \pm 0,5 \%$ erhöht (experimentelle Messung).

Optimierung: Verwenden Sie hochfließendes Pulver (14 Sekunden/50 g $\pm 0,5$ Sekunden) und fügen Sie eine kleine Menge Nano-WC-Pulver ($0,5 \% \pm 0,01 \%$) hinzu, um die Partikelbindung zu verbessern.

Formoberfläche

Auswirkungen: Die Oberflächenrauheit der Form $Ra < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$ (GB/T 1031-2009) kann den Entformungswiderstand auf $< 5 \text{ kN} \pm 0,5 \text{ kN}$ und die Fehlerrate um $3 \% \pm 0,5 \%$ reduzieren (experimentelle Daten).

Optimierung: Polieren Sie die Formoberfläche, um $Ra < 0,1 \mu\text{m}$ sicherzustellen, und verwenden Sie eine verschleißfeste Beschichtung (wie TiN), um die Lebensdauer der Form zu verlängern.

Haltezeit

Aufprall: 30–60 Sekunden ± 1 Sekunde können die Festigkeit des Blocks auf $> 15 \text{ MPa} \pm 1 \text{ MPa}$ erhöhen. Zu lange (> 120 Sekunden ± 1 Sekunde) erhöhen den Energieverbrauch ($> 10 \text{ kWh/t} \pm 1 \text{ kWh/t}$), zu kurze (< 20 Sekunden ± 1 Sekunde) führen zu unzureichender Partikelbindung.

Optimierung: Die Haltezeit wird auf 45–60 Sekunden ± 1 Sekunde geregelt und entsprechend der Grünkörpergröße und den Pulvereigenschaften angepasst.

Gerätegenauigkeit

Auswirkungen: Eine Druckkontrollgenauigkeit von $\pm 5 \text{ MPa}$ und eine Formgrößenabweichung von $< 0,005 \text{ mm} \pm 0,001 \text{ mm}$ (GB/T 4505-2008) können sicherstellen, dass die Abweichung der Knüppeldichte $< 0,3 \% \pm 0,1 \%$ beträgt.

Optimierung: Verwenden Sie ein hochpräzises SPS-Steuerungssystem und kalibrieren Sie die Drucksensoren regelmäßig (alle 500 Pressvorgänge), um die Stabilität der Ausrüstung zu gewährleisten.

5.1.11 Optimierungsstrategie für das kaltisostatische Pressen von Hartmetall

Basierend auf den oben genannten Einflussfaktoren sieht die Optimierungsstrategie des kaltisostatischen Pressens wie folgt aus:

Pulver mit hohem Fließvermögen

Wählen Sie Pulver mit einer Fließfähigkeit von 14 Sekunden/50 g $\pm 0,5$ Sekunden (ISO 4490:2018),

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

um eine gleichmäßige Füllung zu gewährleisten.

Polierform

Die Oberflächenrauheit der Form beträgt $Ra < 0,1 \mu\text{m} \pm 0,02 \mu\text{m}$ (GB/T 1031-2009), wodurch der Entformungswiderstand verringert wird.

Schmierstoffzugabe

Durch die Zugabe von $0,5 \% \pm 0,01 \%$ Stearinsäure (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010) kann die Reibung verringert und die Festigkeit des Blocks verbessert werden.

Präzise Druckregelung

Der Pressdruck wurde auf $250 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ (GB/T 1479.1-2011) geregelt und es wurde eine Strategie zur schrittweisen Druckerhöhung und -verringering angewendet.

Assistierende Technologie

Ultraschallvibrationen (20 kHz) werden eingesetzt, um das Einfüllen des Pulvers zu unterstützen, die Porosität zu verringern und die Packungsdichte auf 50–55 % zu erhöhen.

5.1.12 Praxisbeispiel zum kaltisostatischen Pressen von Hartmetall

Ein Unternehmen verwendet kaltisostatisches Pressen ($250 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, Haltedruck 60 Sekunden ± 1 Sekunde), um Hartmetallrohlinge (WC-Partikelgröße $0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Co-Gehalt $10 \% \pm 1 \%$, „GB/T 19077.1-2008“) herzustellen. Die Dichte des Rohlings nach dem Pressen beträgt $8,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ (ca. 62 % der theoretischen Dichte, GB/T 3850-2015). Nach dem Sintern erreicht die Härte $\text{HV } 2300 \pm 30$ (ISO 3738-1:1982). Das fertige Produkt wird für die Bearbeitung von Titanlegierungen in Flugzeugwerkzeugen verwendet (Temperatur $1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, Schnittgeschwindigkeit $> 300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Band 28, 2010). Werkzeugverschleiß $< 0,08 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, Lebensdauer > 18 Stunden ± 1 Stunde, hervorragende Verschleißfestigkeit und Stabilität.

5.1.13 Technische Anwendungspraxis des kaltisostatischen Pressens von Hartmetall

Bergbaubohrer

Verfahren: Komplexe Zahnbohrer werden durch kaltisostatisches Pressen ($250 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) mit einer geometrischen Abweichung von $< 0,02 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm}$ (GB/T 4505-2008) hergestellt.

Leistung: Dichte nach dem Sintern $> 99,8 \% \pm 0,1 \%$ (ISO 3369-2006), verwendet für Hartgesteinsbohrungen (Druckfestigkeit $> 200 \text{ MPa} \pm 10 \text{ MPa}$, GB/T 3851-2015), Bohrlebensdauer $> 1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

Vorteile: Die hochpräzise Formgebung und gleichmäßige Dichte der komplexen Zahnform verbessern die Schlagfestigkeit und Lebensdauer des Bohrers erheblich.

Verschleißfeste Form

Verfahren: Kaltisostatisches Pressen ($200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) zur Herstellung rechteckiger Knüppel, Dichte $8,0 \text{ g/cm}^3 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ („GB/T 3850-2015“).

Leistung: Wird zum Kaltstauchen verwendet (Extrusionszeiten $> 10^6$ -mal $\pm 10^5$ -mal, „Wear, Vol. 267, 2009“), Verformung $< 0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vorteile: Hohe Dichte und Gleichmäßigkeit sorgen dafür, dass die Form auch bei hoher Belastung stabil bleibt und verlängern ihre Lebensdauer.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die kaltisostatische Presstechnologie von Hartmetall durch isotrope Kompression eine hohe Dichte der Rohlinge ($7,0\text{--}8,5\text{ g/cm}^3$) und eine hohe Gleichmäßigkeit (Dichteabweichung $<0,5\% \pm 0,1\%$) erreicht. Damit eignet sie sich ideal für die Herstellung komplex geformter, leistungsstarker Hartmetallprodukte. Die technischen Parameter müssen präzise kontrolliert werden (z. B. Druck $250\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, Haltedruck $30\text{--}60$ Sekunden ± 1 Sekunde). Der Formeffekt kann durch Optimierung der Genauigkeit von Pulver, Form und Ausrüstung weiter verbessert werden. Praktische Anwendungen haben gezeigt, dass sich kaltisostatisches Pressen bei Bergbaubohrern, verschleißfesten Formen und Luftfahrtwerkzeugen bewährt und die Leistung und Lebensdauer der Produkte deutlich verbessert.

5.1.14 Technische Parameter und Prinzipien des heißisostatischen Pressens von Hartmetall

Prinzip des heißisostatischen Pressens von Hartmetall

Das Heißisostatische Pressen (HIP) von Hartmetall ist eine fortschrittliche Nachbearbeitungstechnologie, die hohe Temperaturen und gleichmäßig hohen Druck kombiniert. Ziel ist es, die beim Sinterprozess des Hartmetalls verbleibenden Mikroporen durch isotropen Druck zu beseitigen und so die Dichte und Zuverlässigkeit des Materials zu verbessern. Das Kernprinzip des **Heißisostatischen Pressens von Hartmetall** besteht darin, die gesinterten Hartmetallprodukte einer Umgebung mit hoher Temperatur und hohem Druck auszusetzen. Dabei wird Inertgas (z. B. Argon) als Druckmedium verwendet. Die Temperaturen ($1350\text{--}1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, ISO 13703:2000) und der Druck ($100\text{--}200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$) sind hoch, sodass das Material plastisch fließt und diffundiert, wodurch die Mikroporen gefüllt und die Mikrostruktur sowie die mechanischen Eigenschaften des Materials verbessert werden.

Heißisostatisches Pressverfahren

Das gesinterte Hartmetallprodukt (oder der vorgesinterte Rohling) wird in einen Hochdruckbehälter der HIP-Anlage gegeben.

Der Hochdruckbehälter ist mit hochreinem Argon (Ar, Reinheit $>99,99\% \pm 0,01\%$, GB/T 4325-2018; Durchflussrate $50\text{ l/min} \pm 5\text{ l/min}$, experimentelle Daten) als Druckmedium gefüllt.

Das Gerät wird auf $1350\text{--}1450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ erhitzt und gleichzeitig ein Druck von $100\text{--}200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$ mit einer gleichmäßigen Druckverteilung und einer Abweichung von $<1\% \pm 0,2\%$ angewendet (Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

$1\text{--}2$ Stunden $\pm 0,1$ Stunde warm halten, damit sich die Mikroporen im Material durch plastische Fließ- und Diffusionsmechanismen schließen können.

Langsam abkühlen ($5\text{--}15\text{ }^\circ\text{C/min}$), Druck ablassen ($5\text{--}10\text{ MPa/min}$) und das Produkt herausnehmen. Der einzigartige Vorteil des heißisostatischen Pressens besteht darin, dass es die Porosität von Hartmetall bei hohen Temperaturen und hohem Druck deutlich reduzieren kann (Reduktion $> 50\% \pm 5\%$, „Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010“). Dadurch erreicht die Materialdichte

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

nahezu den theoretischen Wert ($> 99,8 \% \pm 0,1 \%$, „ISO 3369-2006“) und verbessert so Härte, Zähigkeit und Verschleißfestigkeit. Diese Technologie eignet sich besonders für Hartmetallprodukte mit hohen Zuverlässigkeitsanforderungen, wie z. B. Werkzeuge für die Luftfahrt und Bohrkronen für den Bergbau.

Technische Parameter des heißisostatischen Pressens von Hartmetall

Nachfolgend sind die detaillierten technischen Parameter des heißisostatischen Pressens von Hartmetall aufgeführt, basierend auf industriellen Anwendungen und relevanten Normen:

Temperatur

Bereich: $1350\text{--}1450\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ISO 13703:2000), $1400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ wird üblicherweise verwendet, um Verdichtung und Kornwachstum auszugleichen.

Auswahlgrundlage: Die Temperatur muss hoch genug sein, um plastisches Fließen (Dehnungsrate $10^{-4}\text{ s}^{-1} \pm 10^{-5}\text{ s}^{-1}$, Acta Materialia, Vol. 58, 2010) und Diffusion (Koeffizient $10^{-8}\text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-9}\text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009) zu fördern, sollte aber $1500\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ nicht überschreiten, um ein übermäßiges Wachstum der WC-Körner zu vermeiden (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010).

Heizrate: $5\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, um Risse durch thermische Spannung zu vermeiden.

Druck

Bereich: $100\text{--}200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, $150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$ werden üblicherweise verwendet, um die Porenbeseitigung sicherzustellen.

Auswahlgrundlage: $150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$ reduzieren die Porosität effektiv auf $<0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16). Bei einem Druck von $<100\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$ ist der Verdichtungseffekt unzureichend und die Porosität liegt bei $>0,1\% \pm 0,02\%$. Ein Druck von $>200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$ kann die Porosität zwar weiter reduzieren, erhöht aber die Anlagenkosten und den Energieverbrauch deutlich.

Druckanstiegsrate: $5\text{--}10\text{ MPa}/\text{min}$, schrittweiser Druckanstieg (anfänglicher Vordruck 50 MPa , allmählicher Anstieg auf Zieldruck), um plötzliche Druckänderungen zu vermeiden.

Isolationszeit

Bereich: $1\text{--}2\text{ Stunden} \pm 0,1\text{ Stunden}$, normalerweise $1\text{ Stunde} \pm 0,1\text{ Stunden}$, um eine ausreichende Verdichtung sicherzustellen.

Auswirkungen: Eine Haltezeit von $1\text{ Stunde} \pm 0,1\text{ Stunde}$ kann die Dichte auf $> 99,8\% \pm 0,1\%$ (ISO 3369-2006) erhöhen. Eine Haltezeit von $> 2\text{ Stunden} \pm 0,1\text{ Stunden}$ erhöht den Energieverbrauch ($> 20\text{ kWh}/\text{t} \pm 2\text{ kWh}/\text{t}$, Industriedaten) und kann Kornwachstum verursachen.

Druckmedium

Typ: Argon (Ar), Reinheit $> 99,99\% \pm 0,01\%$ (GB/T 4325-2018), Durchflussrate $50\text{ l}/\text{min} \pm 5\text{ l}/\text{min}$ (experimentelle Daten).

Anforderungen: Hochreines Argon verhindert Oxidation (O-Gehalt $<0,02\% \pm 0,005\%$, GB/T 4325-2018) und gewährleistet eine stabile Materialeistung. Das Gas muss einen $0,5\text{-}\mu\text{m}$ -Filter passieren, um Verunreinigungen zu entfernen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Geräteparameter

Hochdruckbehälter: Innendurchmesser des Hohlraums $> 200 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, Druckfestigkeit $> 300 \text{ MPa}$, Material ist eine Hochtemperaturlegierung (z. B. Inconel 718).

Heizsystem: Leistung $> 150 \text{ kW} \pm 10 \text{ kW}$ (ISO 13703:2000), Temperaturregelgenauigkeit $\pm 5^\circ\text{C}$.

Steuerungssystem: SPS-Steuerung, Druckgenauigkeit $\pm 5 \text{ MPa}$, Zeitgenauigkeit $\pm 0,1 \text{ Std.}$, Temperaturabweichung $< \pm 10^\circ\text{C}$.

Abkühlrate

Bereich: $5\text{--}15^\circ\text{C}/\text{min}$, Druckentlastungsrate $5\text{--}10 \text{ MPa}/\text{min}$.

Voraussetzungen: Durch langsames Abkühlen und Entspannen können Risse durch Wärme- und Druckspannungen vermieden werden.

Verfahren

Produktvorbereitung

der gesinterten Hartmetallprodukte (WC-Partikelgröße $0,3\text{--}1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Co -Gehalt $6\text{--}12 \% \pm 1 \%$, „GB/T 19077.1-2008“) ist sauber und frei von Oxidablagerungen oder Verunreinigungen.

Überprüfen Sie die anfängliche Porosität des Produkts (normalerweise $0,1\% \text{--}0,5\% \pm 0,05\%$, ASTM B657-16), um sicherzustellen, dass es für die HIP-Behandlung geeignet ist.

Vorwärmen der Ausrüstung

Der Hochdruckbehälter wurde auf $300\text{--}500^\circ\text{C}$ vorgeheizt und mit hochreinem Argon (Reinheit $> 99,99\% \pm 0,01\%$) bei einer Durchflussrate von $50 \text{ l}/\text{min} \pm 5 \text{ l}/\text{min}$ befüllt.

Überprüfen Sie die Geräteabdichtung und den Drucksensor, um sicherzustellen, dass die Druckabweichung $< \pm 5 \text{ MPa}$ beträgt.

Heißisostatisches Pressen

Erhöhen Sie die Temperatur auf $1350\text{--}1450^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ ($5\text{--}10^\circ\text{C}/\text{min}$) und den Druck auf $100\text{--}200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ($5\text{--}10 \text{ MPa}/\text{min}$).

$1\text{--}2$ Stunden $\pm 0,1$ Stunde warm halten, damit sich die Mikroporen durch plastischen Fluss und Diffusion schließen können.

Langsam abkühlen ($5\text{--}15^\circ\text{C}/\text{min}$), Druck ablassen ($5\text{--}10 \text{ MPa}/\text{min}$) und das Produkt herausnehmen.

Weiterverarbeitung

Nachdem das Produkt auf Raumtemperatur abgekühlt ist, wird die Oberfläche untersucht und die Porosität gemessen (Ziel $< 0,03\% \pm 0,01\%$).

Führen Sie bei Bedarf Endbearbeitungsvorgänge (wie Polieren oder Schleifen) durch, um das Gerät für den Einsatz oder weitere Tests vorzubereiten.

5.1.15 Mechanismus des heißisostatischen Pressens von Hartmetall

Der Mechanismus des heißisostatischen Pressens basiert auf dem mikroskopischen Verhalten von Materialien unter hoher Temperatur und hohem Druck und umfasst hauptsächlich die folgenden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

zwei Schlüsselmechanismen:

Plastischer Fluss

Unter Bedingungen von $1350\text{--}1450\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $100\text{--}200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$ erweicht die Co-Phase (Bindungsphase) im Hartmetall und das Material als Ganzes weist ein plastisches Fließen auf (Dehnungsrate $10^{-4}\text{ s}^{-1} \pm 10^{-5}\text{ s}^{-1}$, Acta Materialia, Vol. 58, 2010). Dieses Fließen verformt das Material um die Mikroporen, füllt die Poren und verringert die Porosität erheblich (Verringerung um $> 50\% \pm 5\%$, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010).

Diffusionsbeschleunigung

Bei hohen Temperaturen steigt der atomare Diffusionskoeffizient deutlich an ($10^{-8}\text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-9}\text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009) und WC- und Co-Atome diffundieren durch Korngrenzen und Stereomikroskope, was den Porenverschluss und die Homogenisierung der Mikrostruktur weiter fördert.

Durch den oben beschriebenen Mechanismus reduziert das heißisostatische Pressen die Porosität von Hartmetall auf $<0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16), und die Dichte liegt nahe am theoretischen Wert ($>99,8\% \pm 0,1\%$, ISO 3369-2006). Darüber hinaus verbessern hohe Temperaturen und hoher Druck auch die Bindungsfestigkeit der WC-Co-Grenzfläche und reduzieren die Mikrospannungskonzentration ($<20\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, experimentelle Daten). Dadurch verbessern sich die Zuverlässigkeit und die mechanischen Eigenschaften (wie Härte und Zähigkeit) des Materials.

5.1.16 Anwendungsszenarien des heißisostatischen Pressens von Hartmetall

Die Technologie des heißisostatischen Pressens wird hauptsächlich zur Beseitigung von Mikroporen eingesetzt, die beim Sinterprozess von Hartmetall verbleiben, und eignet sich für Anwendungsszenarien mit extrem hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit:

Hartmetall-Hochleistungsschneidwerkzeuge für die Luftfahrt

Luftfahrtwerkzeuge müssen unter hohen Temperaturen und hohen Geschwindigkeiten stabil bleiben (z. B. bei der Verarbeitung von Hochtemperaturlegierungen, Temperaturen $>1000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, Geschwindigkeiten $>300\text{ m/min} \pm 10\text{ m/min}$). HIP kann die Porosität auf $<0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16) reduzieren und so Härte und Verschleißfestigkeit verbessern.

Hartmetall-Bohrer für den Bergbau

hohe Schlagfestigkeit und Verschleiß beim Bohren in hartem Gestein. Das HIP-behandelte Hartmetall weist eine hohe Zähigkeit ($K_{Ic} > 18\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009) auf, was die Lebensdauer verlängert.

Hartmetall-Präzisionsform

Beispielsweise erfordern Drahtziehwerkzeuge oder Stanzwerkzeuge eine hohe Dichte und geringe Porosität, um eine langfristige Stabilität zu gewährleisten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Medizinische Geräte aus Hartmetall

Beispielsweise müssen Hartmetallteile für orthopädische Implantate frei von Mikroporen sein, um Spannungskorrosion zu vermeiden.

Durch heißisostatisches Pressen werden Mikroporen (Porosität $<0,03 \% \pm 0,01 \%$) eliminiert und die Mikrostruktur verbessert, wodurch Hartmetallprodukte unter rauen Arbeitsbedingungen eine höhere Zuverlässigkeit und Haltbarkeit aufweisen.

5.1.17 Einflussfaktoren auf das heißisostatische Pressen von Hartmetall und Optimierungsstrategien

Der Effekt des heißisostatischen Pressens wird von vielen Faktoren beeinflusst. Im Folgenden sind die Schlüsselfaktoren und ihre Optimierungsstrategien aufgeführt:

Heißisostatischer Pressdruck von Hartmetall

Auswirkung: $150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ können die Porosität effektiv auf $<0,03 \% \pm 0,01 \%$ reduzieren (ASTM B657-16). Bei einem Druck von $<100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ ist die Verdichtung unzureichend und die Porosität liegt bei $>0,1 \% \pm 0,02 \%$. Obwohl ein Druck von $>200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ die Porosität weiter reduzieren kann, erhöhen sich die Anlagenkosten um etwa 20–30 % (Industriedaten).

Optimierung: Wählen Sie $150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ und verwenden Sie eine abgestufte Druckerhöhung (5–10 MPa/min), um die Ausrüstung zu schützen.

Temperatur des heißisostatischen Pressens von Hartmetall

Beeinflussen

$1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ können Verdichtung und Kornwachstum ausgleichen (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010). Temperaturen über $1500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ führen zu WC-Kornwachstum (Partikelgröße $> 2 \text{ } \mu\text{m} \pm 0,5 \text{ } \mu\text{m}$, experimentelle Daten) und verringern die Härte ($< \text{HV } 2000 \pm 30$); Temperaturen unter $1300 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ führen zu unzureichender Verdichtung und Porosität $> 0,05 \% \pm 0,01 \%$.

Optimierung

Die Temperatur wurde auf $1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ geregelt, die Heizrate betrug 5–10 $^\circ\text{C}/\text{min}$ und die Abkühlrate 5–15 $^\circ\text{C}/\text{min}$.

Haltezeit beim heißisostatischen Pressen von Hartmetall

Beeinflussen

Durch Halten für 1 Stunde $\pm 0,1$ Stunde kann eine Dichte $> 99,8 \% \pm 0,1 \%$ (ISO 3369-2006) erreicht werden. Haltezeiten von > 2 Stunden $\pm 0,1$ Stunden erhöhen den Energieverbrauch ($> 20 \text{ kWh/t} \pm 2 \text{ kWh/t}$) und können Kornwachstum verursachen.

Optimierung

Die Haltezeit wird auf 1–1,5 Stunden $\pm 0,1$ Stunden geregelt und entsprechend der Produktgröße und der anfänglichen Porosität angepasst.

Atmosphäre

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beeinflussen

Eine Argonreinheit $> 99,99 \% \pm 0,01 \%$ kann Oxidation vermeiden (O-Gehalt $< 0,02 \% \pm 0,005 \%$, GB/T 4325-2018). Bei einer Reinheit $< 99,9 \%$ steigt der Oxidgehalt (O $> 0,05 \% \pm 0,01 \%$), was die Zähigkeit des Materials verringert ($K_1 c < 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$).

Optimierung

Verwenden Sie hochreines Argon ($> 99,99 \% \pm 0,01 \%$) mit einer Durchflussrate von $50 \text{ l/min} \pm 5 \text{ l/min}$, um eine stabile Atmosphäre zu gewährleisten.

Ausgangszustand von heißisostatisch gepressten Hartmetallprodukten

Beeinflussen

Bei anfänglichen Porositäten $> 0,5 \% \pm 0,05 \%$ sind möglicherweise längere Zeiten ($> 2 \text{ h} \pm 0,1 \text{ h}$) oder höhere Drücke ($> 200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) erforderlich, um die Zieldichte zu erreichen.

Optimierung

Bevorzugt werden Sinterprodukte mit einer Porosität von $< 0,3 \% \pm 0,05 \%$ oder eine Optimierung des Ausgangszustandes durch Vorsintern.

5.1.18 Optimierungsstrategie für das heißisostatische Pressen von Hartmetall

Basierend auf den oben genannten Einflussfaktoren sieht die Optimierungsstrategie des heißisostatischen Pressens wie folgt aus:

Prozessparameter

Um den Verdichtungseffekt und die Wirtschaftlichkeit sicherzustellen, wird das Verfahren mit $1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, $1 \text{ Stunde} \pm 0,1 \text{ Stunde}$ (ISO 13703:2000) ausgewählt.

Atmosphärenkontrolle

Verwenden Sie hochreines Argon ($> 99,99 \% \pm 0,01 \%$, GB/T 4325-2018) mit einer Durchflussrate von $50 \text{ l/min} \pm 5 \text{ l/min}$, um Oxidation zu vermeiden.

Temperaturmanagement

Die Heizrate beträgt $5\text{--}10 \text{ }^\circ\text{C/min}$ und die Kühlrate $5\text{--}15 \text{ }^\circ\text{C/min}$, um die thermische Belastung zu reduzieren.

Gerätewartung

Der Hochdruckbehälter und die Heizelemente wurden regelmäßig (alle 500 Behandlungen) überprüft, um die Temperatur- und Druckgenauigkeit ($\pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $\pm 5 \text{ MPa}$) sicherzustellen.

Produktscreening

Um die Verarbeitungszeit und den Energieverbrauch zu reduzieren, werden Produkte mit einer anfänglichen Porosität von $< 0,3 \% \pm 0,05 \%$ bevorzugt.

5.1.19 Aktuelle Fallstudie zum heißisostatischen Pressen von Hartmetall

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ein Unternehmen verwendet heißisostatisches Pressen ($1400\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, $150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, Haltetemperatur für 1 Stunde $\pm 0,1$ Stunde), um Hartmetallprodukte (WC-Partikelgröße $0,3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008; Co-Gehalt $10\% \pm 1\%$, GB/T 5124-2017) zu verarbeiten. Nach der Behandlung wird die Porosität auf $<0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16) reduziert, die Dichte beträgt $>99,8\% \pm 0,1\%$ (ISO 3369-2006) und die Härte erreicht $\text{HV } 2300 \pm 30$ (ISO 3738-1:1982). Die Produkte werden für Luftfahrtwerkzeuge zur Verarbeitung von Hochtemperaturlegierungen (Temperatur $> 1000\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, Geschwindigkeit $> 300\text{ m/min} \pm 10\text{ m/min}$) verwendet, mit einer Lebensdauer von > 20 Stunden ± 1 Stunde und hervorragender Verschleißfestigkeit und Stabilität.

5.1.20 Technische Anwendungspraxis des heißisostatischen Pressens von Hartmetall

Luftfahrtwerkzeuge

Verfahren: Hartmetallwerkzeuge werden durch heißisostatisches Pressen ($1400\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, $150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, ISO 13703:2000) verarbeitet.

Leistung: Härte bis $\text{HV } 2300 \pm 30$ (ISO 3738-1:1982), Porosität $<0,03\% \pm 0,01\%$, Lebensdauer bei der Verarbeitung von Hochtemperaturlegierungen >20 Stunden ± 1 Stunde.

Vorteile: Hohe Dichte und geringe Porosität verbessern die Stabilität des Werkzeugs unter Hochtemperatur- und Hochgeschwindigkeitsbedingungen erheblich.

Bergbaubohrer

Verfahren: Heißisostatisches Pressen ($1450\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, $200\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, ISO 13703:2000) für Hartmetallbohrer.

Leistung: Zähigkeit $K_{1c} > 18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$ (ISO 28079:2009), Lebensdauer beim Bohren in hartem Gestein $>1800\text{ m} \pm 100\text{ m}$.

Vorteile: Durch die Beseitigung der Mikroporen werden die Schlagfestigkeit und Verschleißfestigkeit des Bohrers deutlich verbessert, was seine Lebensdauer verlängert.

Die heißisostatische Presstechnologie von Hartmetall eliminiert Mikroporen (Porosität $<0,03\% \pm 0,01\%$) durch hohe Temperaturen und hohen Druck ($1400\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, $150\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$). Dadurch wird die Materialdichte auf $>99,8\% \pm 0,1\%$ erhöht und die Härte ($\text{HV } 2300 \pm 30$) und Zähigkeit ($K_{1c} > 18\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$) deutlich verbessert. Es eignet sich gut für hochzuverlässige Anwendungen wie Flugzeugwerkzeuge und Bergbaubohrer. Optimierungsstrategien (wie die präzise Steuerung von Temperatur, Druck und Atmosphäre) verbessern die Prozesseffizienz und Produktleistung zusätzlich.

5.1.21 Doppelwirkende Presstechnik

Prinzip und Hintergrund der bidirektionalen Hartmetall-Pressstechnologie

Bidirektionales Pressen ist eine verbesserte Presstechnologie. Im Vergleich zum unidirektionalen Pressen wird das Hartmetallpulver (z. B. WC-Co-Mischpulver) in der Form aus zwei relativen Richtungen (meist vertikal) komprimiert, indem gleichzeitig Druck durch die oberen und unteren

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pressköpfe ausgeübt wird. Dieses Verfahren zielt darauf ab, das beim unidirektionalen Pressen häufig auftretende Dichtegradientenproblem zu reduzieren und die Gleichmäßigkeit und Festigkeit des Rohlings zu verbessern. Bidirektionales Pressen wird häufig in der Hartmetallproduktion eingesetzt, insbesondere wenn Rohlinge mit höherer Dichte und größeren Abmessungen benötigt werden. Der Hauptvorteil liegt darin, dass die Pulverpartikel durch die synergistische Wirkung der oberen und unteren Pressköpfe während des Pressvorgangs einer gleichmäßigeren Kraftverteilung ausgesetzt sind, wodurch innere Spannungen und Schichtung reduziert werden.

Ausrüstung und Prozessparameter für das bidirektionale Pressen von Hartmetall

Ausrüstung

Doppeltwirkende Hydraulikpresse

Ausgestattet mit zwei Sätzen oberer und unterer unabhängiger Hydraulikzylinder mit einem Druckbereich von 150–500 MPa. Gängige Marken sind beispielsweise die deutsche Marke Dorst oder die japanische Marke Kobelco.

Schimmel

Verwenden Sie hochharten Stahl (z. B. Cr12MoV, HRC 60 oder höher) oder Hartmetallauskleidungen und polieren Sie die Innenwand der Form auf $Ra < 0,2 \mu m$, um die Reibung zu verringern. Das Formdesign muss die synchrone Bewegung der oberen und unteren Druckköpfe unterstützen, und der Spalt wird auf 0,01 mm begrenzt.

Steuerungssystem

Das Servohydrauliksystem stellt sicher, dass die Druckabweichung der oberen und unteren Druckköpfe weniger als 5 % und die Verschiebungsgenauigkeit weniger als 0,02 mm beträgt.

Prozessparameter des bidirektionalen Pressens von Hartmetall

Druck: Das Druckverhältnis zwischen den oberen und unteren Druckköpfen beträgt normalerweise 1:1, mit einem typischen Wert von 200–400 MPa, der entsprechend den Pulvereigenschaften und der Größe des Grünkörpers angepasst wird.

Presszeit: Gesamtzyklus 10–20 Sekunden, einschließlich Vorpressen (2–5 Sekunden) und Hauptpressen (5–15 Sekunden).

Pulvereigenschaften: WC-Partikelgröße 0,5–3 μm , Co -Gehalt 6–15 %, 1–2 % Schmiermittel (wie Paraffin oder Stearinsäure) zur Verbesserung der Fließfähigkeit hinzugefügt.

Umgebungsbedingungen: Temperatur $20 \pm 5^\circ C$, Luftfeuchtigkeit $< 60\%$, um zu verhindern, dass das Pulver Feuchtigkeit aufnimmt und die Presswirkung beeinträchtigt.

Der Prozessablauf des Zweiwegepressens von Hartmetall

Pulveraufbereitung

WC- und Co-Pulver werden proportional gemischt (normalerweise durch 12–24-stündiges Mahlen in einer Kugelmühle), mit Schmiermittel versetzt und auf eine einheitliche Partikelgröße gesiebt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Abweichung < 5 %).

Formfüllung

Das Pulver wird durch ein Vibrations- oder automatisches Zuführsystem in die Form gefüllt und die Füllhöhe wird auf 40–50 % kontrolliert, um Luftblasen zu vermeiden.

Vordruck: 50–100 MPa Unterdruck anwenden, Luft ausschließen und 2–5 Sekunden einwirken lassen.

Hauptdruck: Der obere und untere Druckkopf üben gleichzeitig 5–15 Sekunden lang einen Druck von 200–400 MPa aus, um sicherzustellen, dass die Pulverpartikel vollständig komprimiert werden.

Entformen: Lassen Sie den Druck langsam ab (Rate < 10 MPa/s) und entfernen Sie den grünen Rohling, um Risse durch plötzlichen Druckabfall zu vermeiden.

Nachbehandlung: Der Grünling wird 2 Stunden bei 50–80 °C getrocknet, um eine Feuchtigkeitsaufnahme zu verhindern. Anschließend erfolgt eine Vorsinterung (600–800 °C), um das Schmiermittel zu entfernen.

Eigenschaften und Vorteile des bidirektionalen Hartmetallpressens

Dichtegleichmäßigkeit

Im Vergleich zum unidirektionalen Pressen führt die gleichzeitige Wirkung der oberen und unteren Druckköpfe dazu, dass die Dichte des mittleren Teils des Rohlings näher an den beiden Enden liegt und die Gesamtdichte 65–75 % der theoretischen Dichte erreichen kann (beim unidirektionalen Pressen beträgt sie normalerweise 50–70 %).

Geringe innere Spannung

Durch die biaxiale Kompression wird die Scherspannung zwischen den Pulverpartikeln verringert und die inneren Defekte des Grünlings (wie Delamination und Mikrorisse) werden deutlich reduziert.

Breite Anwendbarkeit

Es eignet sich zum Pressen größerer (Höhe 10–50 mm) oder mittelkomplex geformter Rohlinge, wie etwa Platten und Stangen.

Produktionseffizienz

Der Presszyklus ist kurz, für die Massenproduktion geeignet und effizienter als kaltisostatisches Pressen.

Nachteile und Herausforderungen

Komplexität der Form

Das bidirektionale Presswerkzeug muss Auf- und Abbewegungen unterstützen und die Konstruktions- und Herstellungskosten sind höher als bei einem unidirektionalen Presswerkzeug.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Unzureichende laterale Dichte

Obwohl die Dichte von oben nach unten gleichmäßig ist, kann es in seitlicher (horizontaler) Richtung dennoch zu einem Dichtegradienten kommen, insbesondere bei Grünkörpern mit einem großen Aspektverhältnis.

Hohe Anforderungen an die Ausrüstung

Die Synchronisierung der oberen und unteren Druckköpfe erfordert eine hochpräzise Steuerung und die Wartungskosten der Ausrüstung sind hoch.

Anwendungsszenario

Hartmetallstäbe

Dient zur Herstellung von Fräsern und Bohrern mit einem Durchmesser von 10-30 mm und einer Länge von 50-100 mm.

Dünnblechzuschnitt

Wird zur Herstellung von verschleißfesten Auskleidungen oder Schneidwerkzeugs substraten verwendet, Dicke 5–20 mm.

Fall

Ein Unternehmen produziert WC-10%Co-Stäbe (20 mm Durchmesser und 80 mm Länge) durch bidirektionales Pressen mit einem Druck von 300 MPa. Die Rohlingdichte beträgt 72 % der theoretischen Dichte, die Porosität nach dem Sintern beträgt A02 und die Härte HRA 90.

Technische Details und Optimierung

Druckverteilung

Die obere und untere Druckhöhe müssen dynamisch angepasst werden. Bei Pulvern mit hohem Co-Gehalt (> 12 %) wird empfohlen, die obere Druckhöhe etwas höher einzustellen (z. B. 1,1:1), um die schlechte Fließfähigkeit am Boden auszugleichen.

Werkzeugschmierung

Die Innenwand der Form wird mit einer Graphit- oder MoS₂-Schmierschicht beschichtet, wodurch der Reibungskoeffizient auf 0,1–0,2 reduziert wird, wodurch der Entformungswiderstand verringert wird.

Pulveroptimierung

Durch die Zugabe von 0,5 % Nano-WC-Pulver (Partikelgröße <100 nm) kann die Bindungskraft zwischen den Partikeln erhöht und die Pressdichte verbessert werden.

Vibrationsassistent

Durch die Einführung niederfrequenter Vibrationen (50–100 Hz) während der Füllphase wird die Gleichmäßigkeit der Pulverfüllung verbessert und Luftlöcher reduziert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vorsichtsmaßnahmen

Achten Sie auf die Synchronisierung der oberen und unteren Druckköpfe. Übermäßige Abweichungen können zu einer Verlagerung der Rohlingsmitte führen. Es wird empfohlen, ein Servosteuerungssystem zu verwenden.

Bei Pulvern mit hoher Härte (z. B. WC-Partikelgröße $<1 \mu\text{m}$) muss die Vorpresszeit verlängert werden (5–8 Sekunden), um eine Pulveragglomeration zu vermeiden.

Die Formen sollten regelmäßig (alle 1000 Pressungen) auf Verschleiß überprüft und bei Bedarf nachpoliert oder ausgetauscht werden.

Zugehörige Standardreferenzen

ISO 4489:2009 Leitfaden zum Sinterprozess von Hartmetall: weist darauf hin, dass bidirektionales Pressen die Gleichmäßigkeit der Grünkörperdichte verbessern kann und für große Teile geeignet ist.

GB/T 3850-2015 Bestimmung der theoretischen Dichte von Hartmetall: Die Erhöhung der Rohlingdichte durch bidirektionales Pressen trägt dazu bei, den theoretischen Dichtestandard nach dem Sintern zu erreichen (Abweichung $<2\%$).

5.1.22 Hartmetall-Pressetechnologie: Mehrdirektionales Pressen (Lateralpressen)

Prinzip und Hintergrund

Multidirektionales Pressen ist eine fortschrittliche Pressetechnologie. Basierend auf bidirektionalem Pressen wird durch Hinzufügen eines seitlichen (horizontalen) Druckkopfes gleichzeitig aus mehreren Richtungen (in der Regel vertikal und zwei bis vier seitlich) Druck ausgeübt, um Hartmetallpulver zu verdichten und zu formen. Ziel des Designs ist es, die Dichtegleichmäßigkeit des Grünkörpers weiter zu verbessern, innere Spannungen und Defekte zu reduzieren. Es eignet sich besonders für Hartmetallprodukte mit komplexen Formen oder hohen Leistungsanforderungen.

Das mehrdirektionale Pressen gleicht den Mangel der unzureichenden Querdichte beim bidirektionalen Pressen durch Druckverteilung in mehrere Richtungen aus. Es ist wirtschaftlicher als das kaltisostatische Pressen (CIP) und eignet sich für die Produktion mittlerer Größenordnung.

Durch die seitliche Druckeinwirkung können die Pulverpartikel im dreidimensionalen Raum gleichmäßiger komprimiert werden, wodurch die Dichte und die Leistung des Grünkörpers nach dem Sintern deutlich verbessert werden.

Geräte- und Prozessparameter

Ausrüstung

Mehrdirektionale Pressmaschine

Ausgestattet mit 4–6 Druckköpfen (1–2 vertikal, 2–4 seitlich), liegt der Druckbereich bei 200–500 MPa, gängige Marken sind beispielsweise das japanische Unternehmen Sumitomo oder das deutsche Unternehmen Schuler.

Schimmel

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In mehrere Richtungen bewegliche Verbundstruktur, die innere Schicht besteht aus Hartmetall (HRA 88 oder höher), die äußere Schicht aus hochfestem Stahl (Druckfestigkeit > 1000 MPa) und die Innenwand der Form ist auf Ra < 0,15 µm poliert .

Steuerungssystem

Die SPS ist mit einem Servomotor kombiniert, um den Druck und die Verschiebung jedes Druckkopfes in Echtzeit mit einer Genauigkeit von ±1 MPa und einer Verschiebungsabweichung von <0,01 mm zu überwachen.

Prozessparameter

Druck

Vertikale Druckhöhe 300–400 MPa, seitliche Druckhöhe 200–350 MPa, Druckverhältnis einstellbar (typischerweise 1:0,8).

Presszeit

Der Gesamtzyklus beträgt 10–20 Sekunden, einschließlich Vorpressen (3–5 Sekunden) und Hauptpressen (5–15 Sekunden).

Pulvereigenschaften

Die WC-Partikelgröße beträgt 1–2 µm , der Co-Gehalt 6–12 % und zur Reibungsreduzierung wird 0,5–1 % Graphitschmiermittel hinzugefügt.

Umweltbedingungen

Temperatur 20±3°C, Luftfeuchtigkeit <50%, sicherstellen, dass das Pulver trocken ist.

Verfahren

Pulveraufbereitung

WC- und Co-Pulver wurden durch Hochschermischen (Planetenmühle, 24 h) gemischt und Spuren von Nanoadditiven (wie 0,5 % Nano-WC) wurden hinzugefügt, um die Bindungsstärke zwischen den Partikeln zu verbessern.

Formfüllung

Das Pulver wird über ein automatisches Zuführsystem in die Form geladen. In Kombination mit niederfrequenten Vibrationen (50 Hz) wird eine gleichmäßige Füllung mit einer Dichteabweichung von <3 % gewährleistet.

Vorspannung

Wenden Sie 3–5 Sekunden lang 50–100 MPa mit dem vertikalen Druckkopf und 30–80 MPa mit dem seitlichen Druckkopf an, um Luft auszuschließen.

Hauptdruck

Die vertikalen und seitlichen Druckköpfe werden synchron gepresst, 400 MPa vertikal und 300 MPa seitlich, für 5–15 Sekunden, um eine dreidimensionale Kompression zu gewährleisten.

Entformung

Entlasten Sie den Grünling schrittweise (Rate < 5 MPa/s), um Risse durch übermäßige Spannungsfreisetzung zu vermeiden.

Weiterverarbeitung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Der Grünling wurde 3 h bei 60 °C getrocknet und anschließend vorgesintert (700 °C für 2 h), um das Schmiermittel zu entfernen.

Eigenschaften und Vorteile

Dichtegleichmäßigkeit

Durch das mehrdirektionale Pressen wird der Druck dreidimensional verteilt, wodurch die Dichte des Grünkörpers in alle Richtungen gleichmäßiger wird. Die durchschnittliche Dichte kann 75–80 % der theoretischen Dichte erreichen (65–75 % beim bidirektionalen Pressen).

Wenige interne Defekte

Durch seitlichen Druck werden Delamination und Mikrorisse deutlich reduziert und die Festigkeit des Rohlings um 20–30 % erhöht.

Anpassungsfähigkeit an komplexe Formen

Geeignet für mittelkomplexe Formen (wie mehrschneidige Werkzeugrohlinge, Sonderformen), flexibler als bidirektionales Pressen.

Verbesserte Sinterleistung

Durch die gleichmäßige Dichte des Grünlings wird die Sinterschrumpfung gleichmäßiger und die Porosität des fertigen Produkts kann das Niveau A00-B00 erreichen.

Nachteile und Herausforderungen

Komplexität der Ausrüstung

Mehrdirektionale Pressmaschinen erfordern die Koordination mehrerer Pressköpfe und die Gerätekosten und der Wartungsaufwand sind höher als beim bidirektionalen Pressen.

Schwierigkeit des Formendesigns

Multidirektionale Formen müssen multidirektionalen Belastungen standhalten, das Design muss durch eine Finite-Elemente-Analyse (FEA) optimiert werden und die Herstellungskosten sind hoch.

Hohe Anforderungen an die Prozesskontrolle

Druck und Hubraum jedes Druckkopfes müssen mit hoher Präzision synchronisiert werden und das Steuerungssystem benötigt eine Rückmeldung in Echtzeit.

Anwendungsszenario

Komplexe Werkzeugrohlinge: wie mehrschneidige Fräser und Bohrerrohlinge, die eine hohe Gleichmäßigkeit und Festigkeit erfordern.

Formrohlinge: wie Stanzmatrizen und Drahtziehmatrizen, erfordern eine hohe Dichte.

Fall

Ein Unternehmen produziert WC-8%Co-Mehrkant-Werkzeugrohlinge (Durchmesser 30 mm, Höhe 15 mm) mittels Mehrrichtungspresen (vertikal 400 MPa, lateral 300 MPa). Die Rohlingsdichte beträgt 78 % der theoretischen Dichte, die Porosität nach dem Sintern beträgt A00 und die Härte HRA 91.

Technische Details und Optimierung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Druckverteilung

Der vertikale Druckkopf macht 50–60 % des Gesamtdrucks aus, der seitliche Druckkopf 40–50 %. Das Verhältnis wird durch Experimente optimiert (z. B. 1:0,8:0,8).

Formbeschichtung

Die Innenwand ist mit einer TiN- oder DLC-Beschichtung versehen, der Reibungskoeffizient wird auf 0,15 reduziert und die Lebensdauer der Form verlängert (> 5000 Pressvorgänge).

Pulveroptimierung

Fügen Sie 0,5 % Nanographit-Schmiermittel hinzu, um die seitliche Reibung zu verringern und die Partikelfluidität zu verbessern.

Assistierende Technologie

Zur Unterstützung des Pressvorgangs wurden Ultraschallvibrationen (20 kHz) eingeführt, die die Neuordnung der Partikel verbesserten und die Dichte um 5 % erhöhten.

Vorsichtsmaßnahmen

Die Synchronisierung des Druckkopfes muss durch ein geschlossenes Regelsystem überwacht werden, mit einer Abweichung von <0,5 mm, um eine Verzerrung zu vermeiden.

Um lokalem Verschleiß vorzubeugen, sollte die Form regelmäßig auf Spannungspunkte in mehreren Richtungen (wie etwa den seitlichen Druckkopf-Kontaktbereich) überprüft werden.

Bei Pulvern mit hohem Co-Gehalt (> 10 %) muss der seitliche Druck reduziert werden (200–250 MPa), um zu vermeiden, dass durch Überdruck Risse im Grünkörper entstehen .

Zugehörige Standardreferenzen

ISO 4489:2009 Leitfaden für Sinterprozesse für Hartmetall

Durch mehrdirektionales Pressen lässt sich die Gleichmäßigkeit des Grünkörpers deutlich verbessern und wird bei komplexen Formen empfohlen.

GB/T 3850-2015 Bestimmung der theoretischen Dichte von Hartmetall

Die Erhöhung der Rohlingdichte durch mehrdirektionales Pressen trägt dazu bei, die theoretische Dichte nach dem Sintern zu erreichen (Abweichung < 1,5 %).

5.1.23 Strangpressen

Dieser Abschnitt beschreibt detailliert die Hartmetall-Extrusionspresstechnologie und behandelt Prinzipien, Eigenschaften, technische Parameter, Prozessablauf, Anwendungsszenarien, Einflussfaktoren , Optimierungsstrategien, Praxisbeispiele und technische Verfahren. Der Inhalt basiert auf der tatsächlichen Anwendung der Hartmetallproduktion, kombiniert mit Prozessmerkmalen und Industriedaten und ist umfassend und referenzwertorientiert.

Prinzip des Hartmetall-Strangpressens

Das Extrusionsformen ist ein pulvermetallurgisches Formverfahren, das speziell zur Herstellung schlanker oder kontinuierlich geformter Hartmetallrohlinge eingesetzt wird. Das Kernprinzip besteht darin, Hartmetallpulver (z. B. WC-Co-Mischpulver) mit einem Bindemittel (z. B.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Polyvinylalkohol (PVA), Polyoxymethylen (POM) oder einem wachsbasierten Bindemittel) zu einer gut fließfähigen Paste zu vermischen. Anschließend wird diese Paste unter hohem Druck durch einen Extruder in eine kundenspezifische Form gepresst, um einen Rohling mit spezifischer Querschnittsform zu extrudieren. Während des Extrusionsprozesses werden die Pulverpartikel unter hohem Druck und unter Formbedingungen neu angeordnet, komprimiert und zunächst miteinander verbunden. Das Bindemittel dient als Schmier- und Binder und sorgt für ausreichende Festigkeit und Formstabilität des Rohlings nach dem Formen. Nach dem Extrudieren wird der Rohling üblicherweise auf die benötigte Länge zugeschnitten. Das Bindemittel wird durch Entfetten und Sintern entfernt, um schließlich ein Hochleistungs-Hartmetallprodukt zu erhalten. Der Prozess des Extrusionsformens läuft wie folgt ab:

Pulver mit Bindemittel vermischt

Die WC- und Co-Pulver werden proportional gemischt (normalerweise 24 Stunden lang mit einem Hochschermischer oder einer Planetenmühle) und 10–25 % Bindemittel werden hinzugefügt, um ein gleichmäßiges Pastenmaterial herzustellen.

Extrusion

Das pastöse Material wird in den Extruderzylinder gefüllt und durch den Kolben oder die Schnecke wird hoher Druck (200–400 MPa) ausgeübt, um das Material in die Matrize zu drücken und einen Block mit einer bestimmten Querschnittsform zu extrudieren.

Schneiden und Trocknen

Der extrudierte Endloskörper wird nach Bedarf zugeschnitten (bis zu mehreren Metern Länge) und bei 50–80 °C für 2–4 Stunden getrocknet, um eine Feuchtigkeitsaufnahme zu vermeiden.

Entfetten

Die Entbinderung erfolgt durch thermische Entbinderung (300–500 °C) und chemische Entbinderung mit einer Heizrate von <math><5 \text{ °C/min}</math>.

Sintern

Sintern bei 1350–1450 °C und Verdichten zum fertigen Hartmetallprodukt. Der einzigartige Vorteil des Strangpressens liegt in der kontinuierlichen Herstellung schlanker Knüppel. Die Form des Matrizenauslasses bestimmt die Querschnittsgeometrie des Knüppels und eignet sich daher für die Massenproduktion langer Teile wie Stangen und Rohre.

Eigenschaften des Hartmetall-Extrusionsformens

Das Extrusionsformen weist bei der Hartmetallherstellung folgende wesentliche Merkmale auf:

Formflexibilität

Es eignet sich zur Herstellung schlanker oder durchgehend geformter Rohlinge wie Stäbe, Rohre und speziell geformte Stangen. Die Querschnittsform kann durch die Form individuell angepasst werden (z. B. rund, rechteckig, polygonal).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bindemittelanforderungen

Um die Fließfähigkeit des Pastenmaterials und die Formfestigkeit des Grünkörpers zu gewährleisten, muss eine große Menge Bindemittel (10–25 %) hinzugefügt werden. Das Vorhandensein von Bindemittel erfordert einen anschließenden Entfettungsprozess.

Dichteigenschaften

Die Rohlingdichte beträgt üblicherweise 55–65 % der theoretischen Dichte, abhängig vom Bindemittelanteil und dem Extrusionsdruck. Ein höherer Bindemittelanteil kann die Anfangsdichte verringern, nach dem Sintern kann sie jedoch 98–99 % der theoretischen Dichte erreichen.

Produktionseffizienz

Es wird ein kontinuierliches Extrusionsverfahren mit hoher Produktionseffizienz verwendet, das für die Massenproduktion geeignet ist. Die Tagesleistung eines einzelnen Extruders kann Hunderte von Metern an Knüppeln erreichen.

Prozesskomplexität

Bindemittelverhältnis, Extrusionsgeschwindigkeit und Entfettungsprozess müssen präzise gesteuert werden, die Prozesskette ist lang und die Produktionskomplexität steigt.

Technische Parameter für das Extrusionsformen von Hartmetall

Nachfolgend sind die detaillierten technischen Parameter des Hartmetall-Extrusionsformens aufgeführt, basierend auf der industriellen Praxis und den relevanten Normen:

Druck

Bereich : 200–400 MPa, 300 MPa werden üblicherweise verwendet, um die Festigkeit und Formstabilität des Rohlings sicherzustellen.

Auswirkungen : Zu niedriger Druck (<150 MPa) kann zu einer unzureichenden Dichte des Grünkörpers führen (<50 % der theoretischen Dichte); zu hoher Druck (>450 MPa) kann zu Formverschleiß oder Oberflächenrissen am Grünkörper führen.

Pulvereigenschaften

Partikelgröße : WC - Partikelgröße 1–3 μm , Co - Partikelgröße 1–2 μm , **Abweichung** der Mischungsgleichmäßigkeit <3 % (GB/T 19077.1-2008).

Bindemittel : Bindemittel auf Polyvinylalkohol- (PVA-) oder Wachsbasis , das Verhältnis beträgt 15–25 %, normalerweise 20 %, um Fließfähigkeit und Grünkörperfestigkeit auszugleichen.

Fließfähigkeit : Die Fließfähigkeit des Pastenmaterials muss 15–20 Sekunden/50 g erreichen (ähnlich der Norm ISO 4490:2018), um eine reibungslose Extrusion zu gewährleisten.

Extrusionsgeschwindigkeit

Bereich : 0,5–2 m/min, üblicherweise wird 1 m/min verwendet.

Auswirkungen : Eine zu hohe Geschwindigkeit (> 2,5 m/min) kann zu Oberflächenrissen oder inneren Poren am Rohling führen; eine zu niedrige Geschwindigkeit (< 0,3 m/min) verringert die Produktionseffizienz.

Formdesign

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Material : Hartmetall (HRA 88 oder höher) oder hochharter Stahl (HRC 60 oder höher), Auslassquerschnittstoleranz <0,01 mm.

Oberflächenbehandlung : Die Innenwand der Form wird auf Ra < 0,1 µm (GB/T 1031-2009) poliert, um den Reibungswiderstand zu verringern (< 0,1, experimentelle Daten).

Auslassform : individuell an die Produkthanforderungen angepasst, z. B. rund (Durchmesser 2–20 mm), rechteckig (Breite 2–10 mm).

Geräteparameter :

Extruder : Kolben- oder Schneckentyp, Druckbereich 200–500 MPa, Zylinderheiztemperatur 50–80 °C.

Steuerungssystem : SPS - Steuerung, Genauigkeit der Extrusionsgeschwindigkeit ±0,1 m/min, Druckgenauigkeit ±5 MPa.

Entfettungsbedingungen :

Temperatur : 300–500 °C, abgestuftes Erhitzen, 400 °C werden üblicherweise zum thermischen Entfetten verwendet.

Heizrate : <5 °C/min, um ein Reißen des Rohlings zu vermeiden.

Umgebung : Vakuum oder inerte Atmosphäre (N₂ oder Ar, Reinheit > 99,9 %), um Oxidation zu verhindern.

Dichte des Rohlings :

Bereich : 55 % – 65 % der theoretischen Dichte (ungefähr 7,0 – 8,5 g/cm³, gemäß GB/T 3850-2015).

Auswirkung : Je höher der Bindemittelanteil, desto geringer die Ausgangsdichte, dies kann jedoch durch eine Verdichtung nach dem Sintern ausgeglichen werden.

Verfahren

Pulveraufbereitung

- Partikelgröße 1–3 µm, Co-Gehalt 6–12 %) und 24 Stunden lang in einer Planetenmühle geknetet, mit einer Gleichmäßigkeitsabweichung von <3 %. 15–25 % Bindemittel (wie PVA) werden hinzugefügt und zu einem pastösen Material geknetet (der Feuchtigkeitsgehalt wird auf 30–40 % kontrolliert).

Extrusion

Das Pastenmaterial wird in den Extruderzylinder gefüllt und zur Verbesserung der Fließfähigkeit auf 50–80 °C erhitzt.

Wenden Sie einen Druck von 300 MPa und eine Extrusionsgeschwindigkeit von 1 m/min an, um Stäbe oder Rohre durch die Düse zu extrudieren.

Schneiden und Trocknen

Der extrudierte Endlosblock wird nach Bedarf (Länge 100–500 mm) mit einer Schnittgenauigkeit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

von $\pm 0,5$ mm geschnitten.

2–4 Stunden bei 50–80 °C trocknen, um den Feuchtigkeitsgehalt auf $< 0,5$ % zu senken.

Entfetten

Thermisches Entfetten: 300–500 °C, Heizrate < 5 °C/min, 2 Stunden warm halten.

Chemisches Entfetten: Verwenden Sie bei Bedarf ein Lösungsmittel (z. B. Hexan), um Klebstoffreste zu entfernen.

Sintern

Bei 1350–1450 °C sintern, 1–2 Stunden warm halten und auf 98 %–99 % der theoretischen Dichte verdichten.

Anwendungsszenario

Das Extrusionsformen wird häufig bei Hartmetallprodukten eingesetzt, die schlanke Formen erfordern. Zu den wichtigsten Anwendungsfällen zählen:

Lange Werkzeuge : wie Hartmetallstäbe (Durchmesser 2–20 mm), die zur Herstellung von Bohrstangen, Fräsern und Bohrern verwendet werden.

Rohre : z. B. Hartmetallrohre (Außendurchmesser 5–15 mm, Wandstärke 1–3 mm), die für verschleißfeste Rohre oder Düsen verwendet werden.

Stangen in Sonderform : beispielsweise Stangen mit rechteckigem oder polygonalem Querschnitt, die für spezielle Schneidwerkzeuge verwendet werden.

Fallbeispiel : Ein Unternehmen produziert WC-10%Co-Stäbe (5 mm Durchmesser, 300 mm Länge) durch Strangpressen mit einer Strangpressgeschwindigkeit von 1 m/min. Die Rohdichte beträgt 60 % der theoretischen Dichte (ca. $8,0 \text{ g/cm}^3$), die Härte nach dem Sintern beträgt HRA 91 und die Porosität A02. Die Stäbe werden zur Herstellung von Präzisionsbohrern verwendet.

Einflussfaktoren und Optimierungsstrategien

Bindemittelverhältnis

Auswirkungen : Der Bindemittelanteil beträgt 15–25 %, die Abweichung sollte unter 1 % liegen. Ein hoher Anteil (> 30 %) verringert die Rohlingdichte (< 50 % der theoretischen Dichte) und führt zu ungleichmäßiger Schrumpfung nach dem Sintern (Abweichung > 5 %). Ein niedriger Anteil (< 10 %) führt zu unzureichender Fließfähigkeit und erschwert die Extrusion.

Optimierung : Verwenden Sie $20 \pm 0,5$ % PVA und verlängern Sie die Mischzeit auf 2 Stunden, um Gleichmäßigkeit zu gewährleisten.

Extrusionsgeschwindigkeit

Auswirkungen : Die Geschwindigkeit beträgt 0,5–2 m/min. Zu hohe Geschwindigkeiten ($> 2,5$ m/min) führen zu Oberflächenrissen (Risstiefe $> 0,1$ mm, experimentelle Daten); zu niedrige Geschwindigkeiten ($< 0,3$ m/min) verringern die Effizienz.

Optimierung : Regeln Sie die Geschwindigkeit auf 1–1,5 m/min und überwachen Sie die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Oberflächenqualität des Rohlings in Echtzeit.

Pulverfließfähigkeit

Auswirkung : Fließfähigkeit 15–20 Sekunden/50 g (ähnlich der Norm ISO 4490:2018). Eine schlechte Fließfähigkeit (> 25 Sekunden/50 g) kann zu einer ungleichmäßigen Extrusion führen.

Optimierung : Durch Zugabe von 0,5 % Stearinsäure-Schmiermittel wird die Fließfähigkeit nach dem Mischen auf 15 Sekunden/50 g \pm 0,5 Sekunden verbessert.

Formdesign

Auswirkungen : Die Formauslasstoleranz beträgt <0,01 mm und die Oberflächenrauheit Ra <0,1 μ m, wodurch der Reibungswiderstand (<0,1) verringert und Rohlingsfehler (Fehlerrate <2 %) reduziert werden können.

Optimierung : Die Innenwand der Matrize ist mit einer DLC-Beschichtung versehen, um die Lebensdauer zu verlängern (> 10.000 Extrusionen).

Entfettungsprozess

Auswirkungen : Eine Heizrate von > 5 °C/min kann zu Rissen im Rohling führen (Rissrate > 5 %); eine Temperatur von > 500 °C kann zu Oxidation führen (O-Gehalt > 0,05 %).

Optimierung : Stufenweises Erhitzen (200–300 °C, 2 °C/min; 300–500 °C, 3 °C/min), Entbinderung in N₂-Atmosphäre.

Vorsichtsmaßnahmen

Bindemittelkontrolle : Die Verhältnisabweichung muss <1 % und die Abweichung der Mischungsgleichmäßigkeit <2 % betragen, um Sinterfehler durch übermäßiges lokales Bindemittel zu vermeiden.

Entbinderung Verfahren : Heizrate <5°C/min, Haltezeit 2-3 Stunden, vollständige Entfernung des Bindemittels sicherstellen (Rückstand <0,1%).

Wartung der Form : Überprüfen Sie den Formauslass alle 5.000 Extrusionen und polieren Sie ihn auf Ra < 0,1 μ m, um zu verhindern, dass Verschleiß die Genauigkeit des Rohlings beeinträchtigt.

Trocknen des Grünkörpers : Trocknungstemperatur 50–80 °C, Zeit 2–4 Stunden, Feuchtigkeitsgehalt <0,5 %, Rissbildung durch Feuchtigkeitsaufnahme vermeiden.

Gerätekalibrierung : Druck und Geschwindigkeit des Extruders müssen regelmäßig (einmal im Monat) kalibriert werden, mit einer Druckabweichung < \pm 5 MPa und einer Geschwindigkeitsabweichung < \pm 0,1 m/min.

Aktuelle Fälle

Ein Unternehmen produziert im Extrusionsverfahren WC-10%Co-Hartmetallstäbe (Durchmesser 5 mm, Länge 300 mm) zur Herstellung von Präzisionsbohrern. Die Prozessparameter sind wie folgt:

Druck: 300 MPa \pm 5 MPa.

Extrusionsgeschwindigkeit: 1 m/min \pm 0,1 m/min.

- Partikelgröße 1,5 μ m, Co-Gehalt 10 % \pm 1 %, PVA-Binder 20 % \pm 0,5 %.

Entfetten: 400°C, Heizrate 3°C/min, N₂-Atmosphäre.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sintern: 1400°C, Haltetemperatur 1,5 Stunden. Ergebnis: Gründichte 60 % der theoretischen Dichte (ca. 8,0 g/cm³), Sinterdichte 99 % der theoretischen Dichte, Härte HRA 91, Porosität A02, Bohrerstandzeit >1000 m (Hartgesteinsbohren, Druckfestigkeit >150 MPa).

Ingenieurpraxis

Hartmetall-Bohrstange

Verfahren : WC-12 % Co-Bohrstangen (Durchmesser 10 mm, Länge 500 mm) wurden durch Extrusionsformen mit einem Druck von 350 MPa und einer Extrusionsgeschwindigkeit von 1,2 m/min hergestellt.

Leistung : Härte nach dem Sintern HRA 90, Porosität A02, verwendet für Ölbohrungen (Druckfestigkeit > 200 MPa), Lebensdauer > 2000 m.

Vorteile : Durch die kontinuierliche Formgebung wird die Konstanz von Stangenlänge und -querschnitt gewährleistet, wodurch die Stabilität und Haltbarkeit der Bohrstange verbessert wird.

Verschleißfestes Rohr

Verfahren : WC-8%Co-Rohr (Außendurchmesser 12 mm, Wandstärke 2 mm) wurde durch Extrusionsformen mit einem Druck von 300 MPa und einer Extrusionsgeschwindigkeit von 1 m/min hergestellt.

Leistung : Dichte nach dem Sintern beträgt 98,5 % der theoretischen Dichte, Härte HRA 89, wird zum Transport korrosiver Schlämme verwendet, Verschleißfestigkeit > 6 Monate.

Vorteile : Die Rohrwandstärke ist gleichmäßig, mit ausgezeichneter Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit, geeignet für raue Arbeitsbedingungen.

Zusammenfassen

Das Extrusionsverfahren ist ein effizientes und flexibles Hartmetall-Pressverfahren, das sich besonders für die Herstellung schlanker Grünkörper (wie Stangen und Rohre) eignet. Durch präzise Steuerung des Bindemittelanteils (20 % ± 0,5 %), der Extrusionsgeschwindigkeit (1–1,5 m/min) und des Entbinderungsprozesses (Heizrate < 5 °C/min) können hochwertige Grünkörper mit einer Dichte von 55–65 % der theoretischen Dichte hergestellt werden. Die Eigenschaften nach dem Sintern sind hervorragend (Härte HRA 90–91). Das Verfahren bietet hervorragende Leistung bei der Herstellung von Langmessern und verschleißfesten Rohren und erfüllt die Anforderungen der Massenproduktion.

5.1.24 Hartmetall-Spritzguss

Prinzip des Hartmetall-Spritzgießens

Spritzgießen ist ein fortschrittliches pulvermetallurgisches Formgebungsverfahren, das speziell für Hartmetall (z. B. WC-Co-Mischpulver) entwickelt wurde und dem Kunststoff-Spritzguss ähnelt. Das Kernprinzip besteht darin, Hartmetallpulver mit einem thermoplastischen Bindemittel (z. B. Polypropylen (PP), Polyoxymethylen (POM) oder einer wachsbasierten Mischung) in den richtigen Anteilen zu mischen, auf 150–200 °C zu erhitzen, um eine gut fließfähige Schmelze zu bilden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anschließend wird das geschmolzene Material über das Hochdruck-Einspritzsystem (50–100 MPa) der Spritzgussmaschine in eine hochpräzise Form gespritzt. Nach dem Abkühlen entsteht ein grüner Rohling mit komplexer Form oder kleiner Größe. Anschließend wird das Bindemittel durch Entfetten und Sintern entfernt, um ein hochdichtes Hartmetallprodukt zu erhalten. Die Vorteile des Spritzgießens liegen in der hohen Härte und der geringen Fließfähigkeit des Hartmetallpulvers sowie in der Verwendung eines speziellen Bindemittelsystems und eines präzisen Formendesigns, um Formgenauigkeit und Rohlingsqualität zu gewährleisten. Der Spritzgussprozess läuft wie folgt ab:

Pulver mit Bindemittel vermischt

WC- und Co-Pulver wurden mit 20–30 % thermoplastischem Bindemittel vermischt und in einem Hochschermischer 2–4 Stunden lang bei 150–180 °C gemischt, um ein gleichmäßiges Futter zu bilden.

Spritzguss

Das geschmolzene Material wird durch eine Schnecke oder einen Kolben extrudiert, mit einem Druck von 80 MPa in die Form eingespritzt und nach dem Abkühlen entformt.

Entfetten

Entbinderung durch thermische Entbinderung (200–400 °C) und chemische Entbinderung (400–600 °C) mit einer Heizrate von <3 °C/min.

Sintern

Bei 1350–1450 °C sintern, 1–2 Stunden halten und auf 98 % der theoretischen Dichte verdichten. Der einzigartige Vorteil des Spritzgießens liegt darin, dass komplexe geometrische Formen und kleine Teile mit flexiblem Formendesign und hoher Formgenauigkeit hergestellt werden können. Es eignet sich besonders für Hartmetallprodukte, die hohe Präzision und komplexe Strukturen erfordern.

Eigenschaften des Hartmetall-Spritzgusses

Das Spritzgießen weist bei der Hartmetallherstellung folgende wesentliche Merkmale auf:

Hohe Präzision

Geeignet für komplexe Formen (wie Zahnräder, Mikrowerkzeuge) und kleine Teile mit einer Formtoleranz von <0,01 mm und einer Oberflächenrauheit von $Ra < 0,2 \mu m$.

Komplexer Prozess

Es umfasst mehrere Prozesse wie Mischen, Einspritzen, Entfetten und Sintern. Die Prozesskette ist relativ lang und der Produktionszyklus beträgt 10–20 Minuten pro Stück.

Dichteigenschaften

Die Dichte des Grünlings beträgt 50–60 % der theoretischen Dichte. Nach dem Sintern kann durch Verdichtung eine Dichte von 98–99 % der theoretischen Dichte erreicht werden, und die Porosität wird auf das Niveau A00–B00 reduziert.

Produktionseffizienz

Geeignet für die Produktion kleiner und mittlerer Chargen. Die Einzelschussleistung ist begrenzt (1–10 Stück/Zyklus), die Effizienz kann jedoch durch Mehrfachformen verbessert werden.

Höhere Kosten

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Kosten für Formenkonstruktion und -herstellung sind hoch und die Entbinderungs- und Sinterprozesse erhöhen die Produktionskosten.

Technische Parameter für das Spritzgießen von Hartmetall

Nachfolgend sind die detaillierten technischen Parameter des Hartmetall-Spritzgusses aufgeführt, basierend auf der industriellen Praxis und den relevanten Normen:

Druck

Bereich : 50–100 MPa, 80 MPa werden üblicherweise verwendet, um die Füll- und Formqualität sicherzustellen.

Auswirkungen : Zu niedriger Druck (<40 MPa) kann zu Nichtfüllung oder Defekten führen (Defektrate >5 %); zu hoher Druck (>120 MPa) kann die Form beschädigen oder ein Überlaufen des geschmolzenen Materials verursachen.

Pulvereigenschaften

Partikelgröße : WC - Partikelgröße 0,5–2 µm , Co - Partikelgröße 0,5–1 µm , **Abweichung** der Mischungsgleichmäßigkeit <3 % (GB/T 19077.1-2008).

Bindemittel : Thermoplastisches Bindemittel (wie PP, POM oder eine Mischung auf Wachsbasis) , das Verhältnis beträgt 20–30 % , normalerweise 25 % , um Fließfähigkeit und Grünkörperfestigkeit auszugleichen.

Fließfähigkeit : Die Viskosität im geschmolzenen Zustand beträgt 100–500 Pa·s (experimentelle Daten), wodurch eine gleichmäßige Injektionsfüllung gewährleistet wird.

Einspritztemperatur

Bereich : 150–200 °C, zur Optimierung des Schmelzzustands werden üblicherweise 180 °C verwendet.

Auswirkungen : Eine zu niedrige Temperatur (<140 °C) führt zu hoher Viskosität und Schwierigkeiten beim Befüllen; eine zu hohe Temperatur (>220 °C) kann das Bindemittel zersetzen und die Entfettung beeinträchtigen.

Formtemperatur

Bereich : 50–80 °C, 60 °C werden üblicherweise verwendet, um das Abkühlen und Entformen zu beschleunigen .

Auswirkungen : Eine zu niedrige Temperatur (<40 °C) kann zu übermäßiger Abkühlung und zur Entstehung innerer Spannungen führen; eine zu hohe Temperatur (>90 °C) verlängert die Abkühlzeit.

Entfettungsbedingungen

Temperatur : 200–600 °C, durchgeführt in zwei Schritten: thermisches Entbindern 200–400 °C, chemisches Entbindern 400–600 °C.

Heizrate : <3 °C/min, um ein Reißen des Rohlings zu vermeiden (Reißrate <1 %).

Umgebung : Vakuum oder inerte Atmosphäre (N₂ oder Ar , Reinheit > 99,9 %), um Oxidation zu verhindern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Geräteparameter

Spritzgussmaschine : Schnecken- oder Kolbentyp, Einspritzdruck 50–120 MPa, Zylinderheizleistung 10–20 kW.

Schimmel : Stahl mit hoher Härte (z. B. H13, HRC 50 oder höher) oder Hartmetallauskleidung, Toleranz <0,01 mm, Oberfläche poliert auf Ra <0,1 µm (GB/T 1031-2009).

Steuerungssystem : SPS-Steuerung, Temperaturgenauigkeit ±2 °C, Druckgenauigkeit ±2 MPa .

Dichte des Rohlings

Bereich : 50 % – 60 % der theoretischen Dichte (ca. 6,5–8,0 g/cm³ , gemäß GB/T 3850-2015).

Auswirkungen : Je höher der Bindemittelanteil, desto geringer die Anfangsdichte, aber nach dem Sintern kann sie durch Diffusion und Verdichtung 98–99 % erreichen.

Verfahren

Pulver mit Bindemittel vermischt

- Partikelgröße 0,5–2 µm , Co-Gehalt 6–10 %) und 2–4 Stunden lang bei 150–180 °C in einem Hochschermischer geknetet.

Fügen Sie 20–30 % Bindemittel (z. B. eine PP+POM-Mischung) hinzu, um ein gleichmäßiges Futter mit einer Abweichung der Partikelgrößenverteilung von <2 % zu erhalten.

Spritzguss

Das Ausgangsmaterial wird in den Zylinder der Spritzgussmaschine geladen, auf 180 °C ± 2 °C erhitzt und nach dem Schmelzen durch die Schnecke extrudiert.

Der Einspritzdruck beträgt 80 MPa und die Formtemperatur 60 °C. Die Form wird eingespritzt und nach 5-10 Minuten Abkühlzeit entformt .

Entfetten

Thermisches Entbindern : 200–400 °C, Heizrate 2 °C/min, 2 Stunden halten, N₂ -Atmosphäre.

Chemische Entfettung : 400–600 °C, Heizrate 1 °C/min, Lösungsmittelreinigung zum Entfernen von Bindemittelresten.

Sintern

Sintern bei 1400 °C ±10 °C, 1,5 Stunden halten, Vakuum oder Argon Atmosphäre, verdichten auf 98–99 % der theoretischen Dichte.

Anwendungsszenario

Spritzguss wird häufig für Mikroteile aus Hartmetall eingesetzt, die hohe Präzision und komplexe Formen erfordern. Zu den wichtigsten Anwendungsfällen gehören:

Mikroteile : wie Präzisionszahnräder und Mikrowerkzeuge, die in medizinischen Geräten (wie orthopädischen Implantaten) und der Elektronikindustrie (wie Mikromotorteilen) verwendet werden.

Komplexe Strukturen : wie mehrschneidige Mikrofräser und speziell geformte Werkzeugrohlinge

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

für die Präzisionsbearbeitung.

Fallbeispiel Hartmetall-Spritzguss

Ein Unternehmen produziert WC-6%Co-Mikrozahnräder (3 mm Durchmesser, 1 mm Dicke) im Spritzgussverfahren mit einem Spritzdruck von 80 MPa und einer Formtemperatur von 60 °C. Die Härte nach dem Sintern beträgt HRA 92, die Toleranz <0,01 mm. Die Zahnräder werden für medizinische Implantate mit einer Lebensdauer von >5000 Zyklen verwendet.

Einflussfaktoren und Optimierungsstrategien beim Hartmetall-Spritzgießen

Bindemittelverhältnis

Auswirkungen : Der Bindemittelanteil beträgt 20–30 %, die Abweichung sollte < 1 % betragen. Ein hoher Anteil (> 35 %) verringert die Rohdichte (< 45 % der theoretischen Dichte) und erschwert die Entfettung (Rückstand > 0,5 %); ein niedriger Anteil (< 15 %) führt zu unzureichender Fließfähigkeit und ungleichmäßiger Füllung.

Optimierung : Verwenden Sie eine Mischung aus 25 % ± 0,5 % PP + POM und mischen Sie sie 3 Stunden lang, um die Gleichmäßigkeit sicherzustellen.

Einspritztemperatur

Auswirkungen : 180 °C ± 2 °C optimieren die Fließfähigkeit (Viskosität 200–300 Pa·s), Temperaturen <140 °C führen zu Unterfüllung (Fehlerrate > 3 %); Temperaturen >220 °C können das Bindemittel zersetzen.

Optimierung : Geregelt auf 180–190 °C, Zylinderheizung in Stufen (150 °C Einlass, 200 °C Auslass).

Formdesign

Auswirkungen : Eine Formtoleranz von <0,01 mm und eine Oberflächenrauheit Ra von <0,1 µm können den Entformungswiderstand (<2 kN) und die Fehlerrate von <1 % verringern (experimentelle Daten).

Optimierung : Zur Verlängerung der Lebensdauer (> 10.000 Spritzgänge) wird auf die Innenwand der Form eine TiN-Beschichtung aufgebracht.

Entfettungsprozess

Auswirkungen : Eine Heizrate von > 3 °C/min kann zu Rissen im Grünkörper führen (Rissrate > 2 %); eine Temperatur von < 200 °C kann zu unvollständiger Entbinderung und Rückständen von > 0,3 % führen.

Optimierung : schrittweises Erhitzen (200–300 °C, 2 °C/min; 300–600 °C, 1 °C/min), Vakuumenfettung (<10 Pa).

Einspritzdruck

Schlagfestigkeit : 80 MPa ±2 MPa gewährleistet eine vollständige Füllung, Druck <50 MPa kann zu unzureichenden Spritzern führen (Fehlerrate >5 %), Druck >120 MPa kann die Form

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

beschädigen.

Optimiert : Verwendet 80–90 MPa, dynamisch angepasst, um komplexen Geometrien gerecht zu werden.

Vorsichtsmaßnahmen beim Spritzgießen von Hartmetall

Entbinderung : Heizrate $<3^{\circ}\text{C}/\text{min}$, Haltezeit 2-3 Stunden, darauf achten, dass der Binderrückstand $<0,1\%$ (Massenanteil) beträgt, um Sinterfehler zu vermeiden .

Präzision der Form : Die Form muss mit hoher Präzision (Toleranz $<0,01\text{ mm}$) konstruiert werden, die Oberfläche muss auf $\text{Ra} <0,1\text{ }\mu\text{m}$ poliert werden (GB/T 1031-2009) und der Verschleiß sollte alle 500 Injektionen überprüft werden.

Abkühlungskontrolle : Formtemperatur 50–80 °C, Abkühlzeit 5–10 Minuten, um übermäßige innere Spannungen ($<10\text{ MPa}$, experimentelle Daten) zu vermeiden.

Umweltkontrolle : Die Misch- und Injektionsprozesse müssen in einer trockenen Umgebung (Luftfeuchtigkeit $<40\%$) durchgeführt werden, um zu verhindern, dass das Pulver Feuchtigkeit aufnimmt .

Wartung der Ausrüstung : Reinigen Sie die Schnecke und den Zylinder einmal im Monat und überprüfen Sie die Genauigkeit des Heizsystems ($\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Aktuelle Fallstudie zum Hartmetall-Spritzguss

Ein Unternehmen produziert im Spritzgussverfahren WC-6%Co-Mikrozahnräder (3 mm Durchmesser, 1 mm Dicke) für medizinische Implantate. Die Prozessparameter sind wie folgt:

Einspritzdruck: 80 MPa $\pm 2\text{ MPa}$.

Einspritztemperatur: 180 °C $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Formtemperatur : 60 °C $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

- Partikelgröße 0,8 μm , Co-Gehalt 6 % $\pm 1\%$, POM-Binder 25 % $\pm 0,5\%$.

Entfetten: 200–600 °C, Heizrate 2 °C/min, N₂-Atmosphäre.

Sintern: 1400 °C, 1,5 Stunden warm halten. Ergebnis: Die Gründichte beträgt 55 % der theoretischen Dichte (ca. 7,2 g/cm³), die Sinterdichte 98,5 % der theoretischen Dichte, die Härte HRA 92, die Toleranz $<0,01\text{ mm}$, die Zyklenlebensdauer >5000 , womit die hohen Präzisionsanforderungen für medizinische Geräte erfüllt werden.

Technische Anwendungspraxis des Hartmetall-Spritzgießens

Mikromesser

Verfahren : WC-8%Co-Mikrofräser (2 mm Durchmesser und 10 mm Länge) wurden durch Spritzgießen mit einem Spritzdruck von 85 MPa und einer Formtemperatur von 65 °C hergestellt.

Leistung : Nach dem Sintern beträgt die Härte HRA 91, die Porosität A00, es wird für die präzise elektronische Verarbeitung (Schnittgeschwindigkeit 200 m/min) verwendet und die Lebensdauer beträgt >10 Stunden.

Vorteile : Durch Spritzguss wird ein komplexes mehrkantiges Design mit hoher Präzision erreicht, um die Anforderungen der Mikrobearbeitung zu erfüllen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Medizinische Implantatteile

Verfahren : Orthopädische WC-6%Co-Implantate (5 mm Durchmesser, 2 mm Dicke) wurden durch Spritzgießen mit einem Spritzdruck von 80 MPa und einer Formtemperatur von 60 °C hergestellt.

Leistung : Die Dichte nach dem Sintern beträgt 98 % der theoretischen Dichte, die Härte HRA 92, die Biokompatibilität entspricht der Norm ISO 10993 und die Korrosionsbeständigkeit ist ausgezeichnet.

Vorteile : Hohe Präzision und komplexe Formen erfüllen die Anforderungen an Implantate hinsichtlich Biosicherheit und mechanischer Eigenschaften.

Spritzgießen ist ein hochpräzises Hartmetall-Pressverfahren, das sich für komplexe Formen und kleine Teile eignet. Durch präzise Steuerung der Einspritztemperatur ($180\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$), des Drucks ($80\text{ MPa} \pm 2\text{ MPa}$) und des Entfettungsprozesses (Heizrate $< 3\text{ °C/min}$) können Rohlinge mit einer Dichte von 50–60 % der theoretischen Dichte hergestellt werden. Nach dem Sintern erreichen sie 98–99 % der theoretischen Dichte (Härte HRA 92). Das Verfahren eignet sich gut für Bereiche mit hoher Wertschöpfung wie Mikrowerkzeuge und medizinische Implantate und erfüllt die Anforderungen der Klein- und Mittelserienproduktion.

5.1.25 Hartmetallwalzenverdichtung

Prinzip der Hartmetallwalzenverdichtung

Rollformen ist ein effizientes pulvermetallurgisches Umformungsverfahren zur Herstellung dünner Hartmetallplatten oder -streifen (z. B. WC-Co-Mischpulver). Das Kernprinzip besteht darin, das Hartmetallpulver im Spalt zwischen zwei schnell rotierenden Walzen zu pressen und zu scheren. Die Pulverpartikel werden unter hohem Druck komprimiert und neu angeordnet, um einen durchgehenden Streifen oder eine dünne Platte zu bilden. Spaltgröße und Rotationsgeschwindigkeit zwischen den Walzen bestimmen Dicke und Dichte des Rohlings. Nach der Formgebung wird der Rohling in die gewünschte Form geschnitten oder gestanzt und anschließend durch Sintern weiter verdichtet. Beim Rollformen wird die kontinuierliche Einwirkung mechanischer Kraft genutzt und eignet sich besonders für die Massenproduktion dünner Hartmetallprodukte, da der Bedarf an komplexen Formen bei herkömmlichen Pressverfahren reduziert wird. Der Prozess des Rollformens läuft wie folgt ab:

Pulveraufbereitung

WC- und Co-Pulver mischen, 2 % Gleitmittel (z. B. PVA oder Stearinsäure) hinzufügen und durch Kneten für Homogenität sorgen.

Rollformen

wird über eine Zuführvorrichtung in den Spalt zwischen den Walzen eingeführt. Die Walzen wenden einen Druck von 50–150 MPa und eine Geschwindigkeit von 5–15 U/min an, um einen durchgehenden Grünkörper zu extrudieren.

Schneiden und Trocknen

Der Grünkörper wird auf die gewünschte Länge oder Form zugeschnitten und 2–4 Stunden bei 50–80 °C getrocknet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sintern

Gesintert bei 1350–1450 °C, verdichtet auf 98–99 % der theoretischen Dichte.

Die einzigartigen Vorteile des Rollformens liegen in der kontinuierlichen Produktionskapazität, der einfachen Anlagenstruktur und der Anpassungsfähigkeit an dünne Bleche oder großflächige Rohlinge. Es wird häufig bei der Herstellung von verschleißfesten Hartmetall-Beschichtungs substraten eingesetzt.

Eigenschaften der Hartmetallwalzenverdichtung

Das Rollformen weist bei der Hartmetallherstellung folgende wesentliche Merkmale auf:

Kontinuierliche Produktion

Durch die kontinuierliche Rotation der Walzen eignet es sich für die Massenproduktion dünner Bleche oder Streifen mit einer Tagesleistung von Hunderten von Quadratmetern.

Dickenkontrolle

Die Rohlingsdicke ist einstellbar (0,5–5 mm) mit einer Toleranz von <0,05 mm, geeignet für Anwendungen, die eine gleichmäßige Dicke erfordern.

Dichteeigenschaften

Die Dichte des Grünlings beträgt 50–60 % der theoretischen Dichte. Abhängig von der Pulverfließfähigkeit und dem Walzendruck muss er durch anschließendes Sintern auf 98–99 % verdichtet werden.

Einfache Ausstattung

Die Walzenausrüstung weist eine einfachere Struktur auf und ihre Herstellungs- und Wartungskosten sind niedriger als die von Spritzguss- oder isostatischen Pressausrüstungen, sodass sie für die industrielle Förderung geeignet ist.

Einschränkung

Nicht geeignet für komplexe dreidimensionale Formen, die Dickengleichmäßigkeit hängt von der Genauigkeit des Walzenspalts ab.

Technische Parameter

Nachfolgend sind die technischen Parameter des Hartmetall-Rollformens detailliert aufgeführt, basierend auf der industriellen Praxis und den relevanten Normen:

Druck

Bereich : 50–150 MPa, 100 MPa werden üblicherweise verwendet, um Dichte und Produktionseffizienz auszugleichen.

Auswirkungen : Zu niedriger Druck (<40 MPa) führt zu unzureichender Dichte (<45 % der theoretischen Dichte); zu hoher Druck (>180 MPa) kann zu Walzenverschleiß oder Rissbildung im Barren führen.

Pulvereigenschaften

Partikelgröße : WC - Partikelgröße 1–3 µm , Co - Partikelgröße 1–2 µm , **Abweichung** der Mischungsgleichmäßigkeit <3 % (GB/T 19077.1-2008).

Schmiermittel : Fügen Sie 2 % Schmiermittel (z. B. PVA oder Stearinsäure) hinzu, um die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fließfähigkeit zu verbessern (14 Sekunden/50 g \pm 0,5 Sekunden, ISO 4490:2018).

Feuchtigkeitsgehalt : kontrolliert auf $< 0,5 \%$, um den Pulverfluss nicht zu beeinträchtigen.

Walzengeschwindigkeit

Bereich : 5–15 U/min, 10 U/min sind üblich, um ein gleichmäßiges Pressen zu gewährleisten.

Auswirkungen : Eine zu hohe Geschwindigkeit (> 20 U/min) kann zu einer rauen Oberfläche des Rohlings ($R_a > 1 \mu\text{m}$) führen ; eine zu niedrige Geschwindigkeit (< 3 U/min) verringert die Produktionseffizienz.

Walzenspalt

Bereich : 0,5–5 mm, einstellbar, üblicherweise 2 mm verwendet.

Kontrollgenauigkeit : **Abweichung** $< 0,02$ mm, Gewährleistung einer gleichmäßigen Dicke (Toleranz $< 0,05$ mm).

Auswirkungen : Ein zu großer Abstand (> 6 mm) verringert die Dichte ($< 45 \%$ der theoretischen Dichte); ein zu kleiner Abstand ($< 0,3$ mm) kann die Walzen verstopfen.

Walzenmaterial

Typ : Hartmetall (HRA 88 und höher) oder hochharter Stahl (HRC 60 und höher).

Oberflächenbehandlung : Die Walzenoberfläche wird auf $R_a < 0,2 \mu\text{m}$ (GB/T 1031-2009) poliert , um die Reibung zu verringern (Koeffizient $< 0,15$).

Geräteparameter

Walzenpresse : Doppelwalzenkonstruktion, Leistung 10–20 kW, Druckbereich 50–200 MPa .

Steuerungssystem : SPS-Steuerung, Geschwindigkeitsgenauigkeit $\pm 0,5$ U / min, Spaltgenauigkeit $\pm 0,01$ mm.

Dichte des Rohlings

Bereich : 50 % – 60 % der theoretischen Dichte (ca. $6,5\text{--}8,0 \text{ g/cm}^3$, gemäß GB/T 3850-2015).

Auswirkungen : Die Dichte nimmt mit zunehmendem Druck und Pulverfluidität zu und kann nach dem Sintern 98–99 % erreichen.

Verfahren

Pulveraufbereitung

- Partikelgröße $1\text{--}3 \mu\text{m}$, Co-Gehalt 6–12 %) und 12–24 Stunden lang in einer Kugelmühle mit einer Gleichmäßigkeitsabweichung von $< 3 \%$ vermischt.

Fügen Sie 2 % Schmiermittel (z. B. PVA) hinzu, sieben Sie es nach dem Mischen (200 Maschenweite), und die Fließfähigkeit erreicht 14 Sekunden/50 g \pm 0,5 Sekunden.

Rollformen

wurde über eine vibrierende Zuführvorrichtung in den Spalt zwischen den Walzen eingeführt . Die Walzen übten einen Druck von 100 MPa, eine Geschwindigkeit von 10 U/min und einen Spalt von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2 mm aus.

Durch kontinuierliches Extrudieren in dünne Platten oder Streifen wird die Dicke auf $2 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ kontrolliert.

Schneiden und Trocknen

Der Rohling wird auf die gewünschte Größe zugeschnitten (Länge 100–500 mm, Genauigkeit $\pm 0,5 \text{ mm}$).

2–4 Stunden bei $50\text{--}80 \text{ }^\circ\text{C}$ trocknen, um den Feuchtigkeitsgehalt auf $<0,5 \%$ zu senken.

Sintern

Sintern bei $1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, 1,5 Stunden halten, Vakuum oder Argon Atmosphäre, verdichten auf 98–99 % der theoretischen Dichte.

Anwendungsszenarien der Hartmetall-Walzverdichtung

Das Rollformen wird häufig zur Herstellung dünner Bleche oder großflächiger Hartmetallrohlinge eingesetzt. Zu den wichtigsten Anwendungsfällen zählen:

Dünnere Blechrohling : z. B. ein verschleißfestes Hartmetall-Beschichtungssubstrat (Dicke 1–3 mm), das zur Oberflächenverstärkung oder als Verbundwerkstoff verwendet wird.

Streifenrohlinge : z. B. Hartmetall-Verschleißstreifen (Breite 10–50 mm), die für Schneidwerkzeuge oder Formen verwendet werden.

Fallstudie zur Hartmetallwalzenverdichtung

Ein bestimmtes Unternehmen produziert verschleißfeste WC-10%Co-Dünnbleche (Dicke 2 mm, Breite 100 mm) durch Rollformen mit einer Walzengeschwindigkeit von 10 U/min, einem Druck von 100 MPa, einer Grunddicke von 55 % der theoretischen Dichte (ca. $7,3 \text{ g/cm}^3$), einer Härte von HRA 89 nach dem Sintern und einer Porosität von A02, die als verschleißfeste Beschichtungssubstrate verwendet werden.

Einflussfaktoren und Optimierungsstrategien der Hartmetall-Walzverdichtung

Walzenspalt

Auswirkungen : Spalt 0,5–5 mm, Abweichung $<0,02 \text{ mm}$. Ein zu großer Spalt ($>6 \text{ mm}$) verringert die Dichte ($<45 \%$ der theoretischen Dichte); ein zu kleiner Spalt ($<0,3 \text{ mm}$) kann zu Verstopfungen führen.

Optimierung : Automatisches Spalteinstellungssystem mit einer Genauigkeit von $\pm 0,01 \text{ mm}$ und Dickenüberwachung in Echtzeit.

Walzengeschwindigkeit

Schlagkraft : 10 U/min $\pm 0,5 \text{ U/min}$ sorgt für gleichmäßiges Anpressen, Drehzahl $>20 \text{ U/min}$ führt zu Oberflächenrauheit ($R_a > 1 \text{ } \mu\text{m}$), Drehzahl $<3 \text{ U/min}$ reduziert die Effizienz.

Optimierung : Gesteuert bei 8–12 U/min, dynamisch angepasst an die Pulverfließfähigkeit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pulverfließfähigkeit

Auswirkung : Fließfähigkeit 14 Sekunden/50 g \pm 0,5 Sekunden (ISO 4490:2018). Eine schlechte Fließfähigkeit ($>$ 20 Sekunden/50 g) führt zu ungleichmäßiger Zufuhr und Dichteabweichungen $>$ 5 %.

Optimierung : Durch Zugabe von 0,5 % Nanographit- Schmiermittel wird die Fließfähigkeit auf 13 Sekunden/50 g \pm 0,5 Sekunden verbessert.

Druckregelung

Aufprall : 100 MPa \pm 5 MPa optimierte Dichte (55 % – 60 % theoretische Dichte), Druck $<$ 50 MPa, Dichte $<$ 45 %; Druck $>$ 180 MPa, der Walzenverschleiß wird verstärkt.

Optimierung : Verwenden Sie 100–120 MPa, ausgestattet mit Drucksensor, Abweichung $\leq \pm 2$ MPa.

Walzenoberfläche

Auswirkungen : Eine Oberflächenrauheit Ra $<$ 0,2 μ m kann die Reibung verringern ($<$ 0,15) und die Fehlerrate liegt bei $<$ 2 %; Ra $>$ 0,5 μ m kann Kratzer auf der Oberfläche des Rohlings verursachen.

Optimierung : Alle 1000 Mal die Walze polieren, bis Ra $<$ 0,2 μ m ist und eine verschleißfeste Schicht (z. B. CrN) auftragen .

Vorsichtsmaßnahmen bei der Verdichtung mit Hartmetallwalzen

Walzenspaltkontrolle : Abweichung $<$ 0,02 mm, regelmäßige Kalibrierung (einmal im Monat) , um ungleichmäßige Dicken zu vermeiden (Toleranz $>$ 0,1 mm).

Pulverfließfähigkeit : Es ist eine hohe Fließfähigkeit erforderlich (14 Sek./50 g \pm 0,5 Sek., ISO 4490:2018) und zur Gewährleistung der Gleichmäßigkeit wird ein vibrierendes Zuführgerät (50 Hz) verwendet.

Walzenwartung : Überprüfen Sie alle 500 Rollzyklen den Rollenverschleiß und polieren Sie auf Ra $<$ 0,2 μ m , um die Lebensdauer zu verlängern ($>$ 10.000 Mal).

Trocknungsprozess : 2–4 Stunden bei 50–80 °C trocknen, Feuchtigkeitsgehalt $<$ 0,5 % , um Feuchtigkeitsaufnahme und Rissbildung zu verhindern .

Gerätstabilität : Walzengeschwindigkeit und -druck müssen regelmäßig (einmal pro Woche) kalibriert werden, mit einer Geschwindigkeitsabweichung von $\leq \pm 0,5$ U/min und einer Druckabweichung von $\leq \pm 5$ MPa .

Aktueller Fall der Hartmetallwalzenverdichtung

Ein Unternehmen nutzt das Rollformverfahren zur Herstellung von verschleißfesten WC-10%Co-Platten (2 mm dick, 100 mm breit) für die Oberflächenverstärkung. Die Prozessparameter sind wie folgt:

Druck: 100 MPa \pm 5 MPa.

Rollengeschwindigkeit : 10 U/min \pm 0,5 U/min.

Spalt: 2 mm \pm 0,02 mm.

Pulver: WC-Partikelgröße 1,5 μ m , Co -Gehalt 10 % \pm 1 % , PVA-Gleitmittel 2 % \pm 0,1 % .

Sintern: 1400°C, 1,5 Stunden. Ergebnis: Gründichte 55 % der theoretischen Dichte (ca. 7,3 g/cm³) ,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sinterdichte 98,5 % der theoretischen Dichte, Härte HRA 89, Dickentoleranz <0,05 mm, Porosität A02, Verwendung für verschleißfeste Beschichtung, Lebensdauer >500 Stunden (Verschleißtest, Belastung 50 N).

Technische Anwendungspraxis der Hartmetall-Walzverdichtung

Verschleißfestes Beschichtungssubstrat für die Hartmetallwalzenverdichtung

Verfahren : WC-8%Co-Platten (Dicke 1,5 mm, Breite 120 mm) wurden durch Rollformen mit einem Druck von 100 MPa und einer Walzengeschwindigkeit von 12 U/min hergestellt.

Leistung : Nach dem Sintern beträgt die Härte HRA 88, die Dichte 98 % der theoretischen Dichte, es wird zur Verstärkung der Stahloberfläche verwendet und die Verschleißfestigkeit beträgt >400 Stunden.

Vorteile : Durch die kontinuierliche Produktion wird eine gleichmäßige Blechdicke gewährleistet, die für großflächige Beschichtungsanwendungen geeignet ist.

Hartmetall-Rollenverdichtungs -Schneidwerkzeugstreifen

Verfahren : WC-12%Co-Streifen (3 mm Dicke, 20 mm Breite) wurden durch Rollformen bei einem Druck von 120 MPa und einer Walzengeschwindigkeit von 8 U/min hergestellt.

Leistung : Härte nach dem Sintern HRA 90, Zähigkeit $K_{Ic} > 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, Schnittstandzeit >800 m (hartes Material, Schnittgeschwindigkeit 150 m/min).

Vorteile : Hervorragende Streifenfestigkeit und Verschleißfestigkeit, erfüllt die hohen Leistungsanforderungen von Schneidwerkzeugen.

Das Rollformen ist ein effizientes und wirtschaftliches Hartmetall-Pressverfahren, das sich besonders für die Massenproduktion dünner Bleche oder Streifenrohlinge (Dicke 0,5–5 mm, Toleranz < 0,05 mm) eignet. Durch präzise Steuerung des Walzenspalts ($2 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$), der Drehzahl ($10 \text{ U/min} \pm 0,5 \text{ U/min}$) und des Drucks ($100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$) kann ein Rohling mit einer Dichte von 50–60 % der theoretischen Dichte hergestellt werden. Nach dem Sintern erreicht er 98–99 % der theoretischen Dichte (Härte HRA 88–90). Das Verfahren eignet sich gut für verschleißfeste Beschichtungssubstrate und Schneidwerkzeugstreifen und erfüllt die Anforderungen der industriellen Produktion.

5.1.26 Explosive Verdichtung von Hartmetall

Prinzip der explosiven Verdichtung von Hartmetall

Explosives Verdichten ist ein spezielles Formverfahren, das die durch eine Explosion erzeugte, schlagartige Stoßwelle (Druck bis zu mehreren Tausend MPa) nutzt, um Hartmetallpulver zu verdichten. Das Kernprinzip besteht darin, Hartmetallpulver (z. B. WC-Co-Mischpulver) in einen schlagfesten Metallbehälter zu füllen, Sprengstoff um den Behälter herum anzuordnen und die durch die Explosion erzeugte Hochgeschwindigkeitsstoßwelle (Geschwindigkeit bis zu mehreren Tausend Metern pro Sekunde) schnell auf das Pulver zu übertragen. Dies führt zu einer drastischen Umlagerung, plastischen Verformung und lokalem Schmelzen der Pulverpartikel und schließlich

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

zur Bildung eines hochdichten Grünkörpers. Die Besonderheit des explosiven Verdichtens liegt in der ultrakurzen Verdichtungszeit (<1 Millisekunde) und dem ultrahohen Druck. Dadurch wird schlagartig ein Grünkörper mit einer Dichte nahe der theoretischen Dichte erreicht, der sich besonders für Hartmetallprodukte eignet, die eine extrem hohe Dichte und besondere Eigenschaften erfordern. Nach der Explosion kann eine Wärmebehandlung erforderlich sein, um Mikrorisse zu reparieren und die Mikrostruktur zu optimieren.

Explosives Verdichtungsverfahren

Pulverfüllung

WC- und Co-Pulver werden ohne Zugabe von Schmiermitteln in Metallbehälter (z. B. aus hochfestem Stahl oder Kupfer) gefüllt.

Sprengstoffplatzierung

Dabei werden Sprengstoffe (wie TNT oder RDX) um den Behälter herum angeordnet und die Explosionsenergie anhand des Volumens der Platzpatrone berechnet.

Explosionsunterdrückung

Der Sprengstoff wird gezündet und die Stoßwelle komprimiert das Pulver, wobei die Kompressionszeit < 1 Millisekunde beträgt.

Abkühlung und Entnahme

Nach der Explosion wird der Rohling auf natürliche Weise abgekühlt und zur weiteren Verarbeitung entnommen.

Wärmebehandlung

Eine Wärmebehandlung bei 600–1000 °C repariert Mikrorisse und stabilisiert die Struktur.

Sintern

Gesintert bei 1350–1450 °C, verdichtet auf 99 % der theoretischen Dichte.

Aufgrund der hohen Effizienz und der ultrahohen Dichte der Sprengverdichtung handelt es sich um ein Schlüsselverfahren für spezielle Anwendungen von Hartmetall.

Eigenschaften der explosiven Verdichtung von Hartmetall

Das Explosionspressen weist bei der Hartmetallherstellung folgende wesentliche Merkmale auf:

Ultrahohe Dichte

Die Dichte des Grünlings kann 90–95 % der theoretischen Dichte erreichen, was viel höher ist als beim herkömmlichen Pressverfahren (50–80 %), und liegt nach dem Sintern bei nahezu 100 % der theoretischen Dichte.

Sofortiges Formen

Die Presszeit beträgt weniger als 1 Millisekunde, was äußerst effizient ist und sich für Rapid-Prototyping-Anforderungen eignet.

Prozesskomplexität

Die Explosionsumgebung sowie Art und Anordnung der Sprengstoffe müssen streng kontrolliert werden, wobei hohe Sicherheitsanforderungen und professionelle Einrichtungen erforderlich sind.

Hohe Kosten

Die Ausrüstung und Sicherheitsmaßnahmen sind teuer und für kleine Chargen hochwertiger

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Produkte geeignet, für die Massenproduktion jedoch nicht wirtschaftlich.

Mögliche Mängel

Nach der Explosion kann der Rohling Mikrorisse oder Eigenspannungen aufweisen, die eine Nachbehandlung und Reparatur erforderlich machen.

Technische Parameter der Hartmetall-Sprengverdichtung

Nachfolgend sind die technischen Parameter des Sprengpressens von Hartmetall aufgeführt, die auf Forschungs- und Versuchsdaten basieren:

Druck

Bereich : 1000–5000 MPa, sofortige Wirkung, Spitzendruck hängt von Sprengstoffart und Anordnung ab.

Auswirkungen : Ein Druck von <1000 MPa kann zu einer unzureichenden Dichte führen (<85 % der theoretischen Dichte); ein Druck von >6000 MPa kann zu Überhitzung oder zum Schmelzen des Pulvers führen.

Pulvereigenschaften

Partikelgröße : WC - Partikelgröße 0,5–2 μm , Co - Partikelgröße 0,5–1 μm , **Abweichung** der Mischungsgleichmäßigkeit <3 % (GB/T 19077.1-2008).

Co -Gehalt : 6–10 % , kein Schmiermittel erforderlich, da die Explosionsstoßwelle ausreichend Energie liefert.

Feuchtigkeitsgehalt : kontrolliert auf <0,1 % , um eine explosionsbedingte Gasausdehnung zu vermeiden.

Behältermaterial

Typ : Hochfester Stahl (z. B. 40CrNiMoA, Zugfestigkeit >1000 MPa) oder Kupfer (hervorragende Schlagzähigkeit).

Dicke : 5–20 mm, ausgelegt entsprechend der Explosionsenergie.

Innenwandbehandlung : Poliert auf $R_a < 0,5 \mu\text{m}$, um Reibung und Pulverhaftung zu reduzieren.

Explosive Energie

Einheit : Häufig verwendetes TNT-Äquivalent (kg), berechnet auf Grundlage des Volumens der Rohlinge (z. B. 100 cm^3 Rohlinge erfordern 0,5–1 kg TNT).

Kontrolle : Eine zu niedrige Energie (<0,3 kg TNT) führt zu einer unzureichenden Dichte; eine zu hohe Energie (>2 kg TNT) kann den Behälter beschädigen.

Detonationsmethode : zentrale Detonation **oder** Mehrpunktdetonation, angepasst an die Form des Rohlings.

Ausstattung und Umgebung

Ausstattung : Spezielle Explosionskammer, explosions sichere Wandstärke >1 m, ausgestattet mit Fernüberwachung.

Sicherheitsabstand : Der Bediener befindet sich >500 m vom Explosionsort entfernt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Temperatur : Die Temperatur im Moment der Explosion kann über 2000 °C erreichen und muss schnell abgekühlt werden .

Dichte des Rohlings

Bereich : 90 % – 95 % der theoretischen Dichte (ca. 11,5–12,0 g/cm³ , gemäß GB/T 3850-2015).

Aufprall : Die Dichte nimmt mit der Intensität der Stoßwelle zu und kann nach dem Sintern 99,5 % bis 100 % erreichen.

Verfahren

Pulveraufbereitung

- Partikelgröße 0,5–2 µm , Co-Gehalt 6–10 %) und 12–24 Stunden lang in einer Kugelmühle mit einer Gleichmäßigkeitsabweichung von <3 % vermischt.

Trocknen auf einen Feuchtigkeitsgehalt von < 0,1 % ohne Zugabe von Gleitmitteln.

Füllbehälter

Das Pulver wurde in einen Metallbehälter (Dicke 10 mm) gefüllt und durch Vibrationsfüllung (50 Hz) wurde eine Verdichtung mit einer Füllrate von 70–80 % erreicht.

Verschließen Sie den Behälter und prüfen Sie seine Luftdichtheit (Vakuumgrad <10 Pa).

Sprengstoffplatzierung

Um den Behälter herum werden TNT-Sprengstoffe (0,5–1 kg) angeordnet und die Detonationspunkte werden konzentriert oder an mehreren Stellen im Abstand von 5–10 cm vom Behälter platziert.

Die Dichte des Sprengstoffs wird angepasst (1,5–1,7 g/cm³), um die Intensität der Stoßwelle zu steuern.

Explosionsunterdrückung

Die in einer speziellen Explosionskammer detonierte Stoßwelle komprimiert das Pulver in einer Kompressionszeit von <1 Millisekunde.

Nach der Explosion natürlich abkühlen lassen (10–20 Minuten).

Entfernung und Wärmebehandlung

Nehmen Sie den Rohling heraus, prüfen Sie ihn auf Oberflächenrisse und führen Sie bei Bedarf eine Wärmebehandlung bei 600–1000 °C für 2 Stunden durch, um Mikrorisse zu reparieren.

Sintern :

Sintern bei 1400 °C ±10 °C, 1,5 Stunden halten, Vakuum oder Argon Atmosphäre, Verdichtung auf 99,5 %–100 %.

Anwendungsszenarien der Hartmetall-Sprengverdichtung

Das Explosionspressen eignet sich für Hartmetallprodukte, die eine ultrahohe Dichte und besondere Eigenschaften erfordern. Die wichtigsten Anwendungsfälle sind:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hochleistungsteile : wie z . B. Hartmetalltargets mit ultrahoher Dichte für die physikalische Gasphasenabscheidung (PVD), die keine Porosität und Gleichmäßigkeit erfordern.

Kugelsichere Materialien : wie Hartmetall-Verbundplatten, die in Panzerungen oder explosions sicherer Ausrüstung verwendet werden.

Spezialwerkzeuge : wie z. B. superharte Bohrer oder Schneidwerkzeuge für extreme Arbeitsbedingungen (Temperatur > 1000 °C, Druck > 200 MPa) .

Fallstudie zur explosiven Verdichtung von Hartmetall

Ein Forschungsinstitut stellt WC-6%Co-Target (Durchmesser 100 mm, Dicke 5 mm) durch Explosionspressen her, TNT-Äquivalent 0,8 kg, Rohblockdichte 93 % der theoretischen Dichte (ca. 11,7 g/cm³) , Härte HRA 94 nach dem Sintern, Porosität A00, für PVD-Beschichtung, Filmhaftung >50 MPa.

Einflussfaktoren und Optimierungsstrategien der Hartmetall-Sprengverdichtung

Explosive Energie

Schlagkraft : 0,5–1 kg TNT-Äquivalent sind für Rohlinge von 100–200 cm³ geeignet . Zu geringe Energie (<0,3 kg) führt zu einer Dichte von <85 %. Zu hohe Energie (>2 kg) kann zum Schmelzen oder Bersten des Behälters führen.

Optimierung : Berechnen Sie die Energie basierend auf dem Volumen des Grünkörpers, verwenden Sie 0,6–0,9 kg TNT und kalibrieren Sie mit einem Energiemessgerät.

Pulvergröße

Auswirkungen : Die Partikelgröße beträgt 0,5–2 µm . Eine zu große Partikelgröße (> 3 µm) führt zu ungleichmäßiger Dichte; eine zu kleine Partikelgröße (< 0,3 µm) kann durch Überhitzung zu Verklebungen führen.

Optimierung : Verwenden Sie WC-Pulver mit 1–1,5 µm , Co-Partikelgröße 0,5–1 µm und eine Mischgleichmäßigkeit von <2 % .

Behälterdesign

Auswirkungen : Dicke 10–20 mm, Innenwandrauheit Ra < 0,5 µm kann die Pulverhaftung verringern, unzureichende Dicke (< 5 mm) kann zum Bruch führen.

Optimierung : Verwenden Sie 15 mm dicken hochfesten Stahl und tragen Sie eine Antihafbeschichtung (z. B. TiN) auf die Innenwand auf.

Stoßwellenverteilung

Auswirkungen : Mehrpunktdetonationen sind gleichmäßiger als konzentrierte Detonationen, mit einer Abweichung von <5 %; Ungleichmäßigkeiten können zu einem Dichtegradienten von >10 % führen.

Optimierung : 3-5 Zündpunkte verwenden, die Entfernung gleichmäßig verteilen und die Sprengstoffdichte auf 1,6 g/cm³ einstellen .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wärmebehandlung

Auswirkungen : Eine Wärmebehandlung bei 600–1000 °C kann Mikrorisse (Tiefe < 0,05 mm) reparieren, Temperaturen < 500 °C sind nicht effektiv genug.

Optimierung : Wärmebehandlung bei 800 °C ± 10 °C für 2 Stunden in Argonatmosphäre zur Reduzierung der Restspannung (< 20 MPa).

Vorsichtsmaßnahmen bei der explosiven Verdichtung von Hartmetall

Sicherheitsvorschriften : Der Betrieb muss in einer professionellen Explosionsschutzeinrichtung und unter Einhaltung der nationalen Explosionsschutzvorschriften (z. B. GB 50198-2011) durchgeführt werden. Der Bediener muss einen Abstand von >500 m einhalten und Schutzausrüstung muss getragen werden .

Reparatur von Mikrorissen : Oberflächenrisse nach der Explosion prüfen (Lupen- oder Ultraschallprüfung), Wärmebehandlungstemperatur 800 °C ± 10 °C, Zeit 2–3 Stunden.

Haltbarkeit des Behälters : Überprüfen Sie die Integrität des Behälters alle 10 Explosionen und ersetzen Sie ihn, wenn die Dicke abgenutzt ist und mehr als 1 mm beträgt.

Umweltschutz : Die Umgebungsfeuchtigkeit vor der Explosion beträgt <30 %, um zu verhindern, dass das Pulver Feuchtigkeit aufnimmt und abnormale Reaktionen hervorruft .

Entsorgung : Explosionsrückstände müssen fachgerecht recycelt werden, um eine Umweltverschmutzung zu vermeiden .

Aktuelle Fallstudie zur explosiven Verdichtung von Hartmetall

Ein Forschungsinstitut nutzt das Explosionspressverfahren zur Herstellung von WC-6%Co-Targets (Durchmesser 100 mm, Dicke 5 mm) für die PVD-Beschichtung. Die Prozessparameter sind wie folgt:

Druck: ca. 3000 MPa (momentan).

Explosionsenergie: 0,8 kg TNT.

- Partikelgröße 1 µm , Co-Gehalt 6 % ± 0,5 %.

Behälter: 15 mm dicker hochfester Stahl.

Wärmebehandlung: 800 °C, 2 Stunden, Argonatmosphäre .

Sintern: 1400 °C, 1,5 Stunden halten. Ergebnisse: Gründichte 93 % der theoretischen Dichte (ca. 11,7 g/cm³) , Sinterdichte 99,5 % der theoretischen Dichte, Härte HRA 94, Porosität A00, PVD-Beschichtungshaftung > 50 MPa , Gleichmäßigkeit der Filmdicke < ± 0,5 µm .

Technische Anwendungspraxis der explosiven Verdichtung von Hartmetall

PVD-Targets für die explosive Verdichtung von Hartmetall

Verfahren : WC-8%Co-Target (Durchmesser 150 mm, Dicke 10 mm) wird durch Explosionspressen mit einem TNT-Äquivalent von 1 kg hergestellt.

Leistung : Dichte nach dem Sintern beträgt 99,8 % der theoretischen Dichte, Härte HRA 93, Porosität A00, verwendet für TiN- Beschichtung, Haftung > 60 MPa.

Vorteile : Ultrahohe Dichte gewährleistet eine lange Lebensdauer des Ziels (> 100 Stunden) und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eine stabile Beschichtungsqualität.

Kugelsichere Verbundplatte aus explosiver Verdichtung von Hartmetall

Verfahren : Explosionspressen zur Herstellung einer WC-10%Co-Verbundplatte (Dicke 5 mm, Fläche 200 cm²), TNT-Äquivalent 0,6 kg.

Leistung : Sinterhärte HRA 92, Schlagfestigkeit >500 J/cm², kugelsichere Klasse NIJ III.

Vorteile : Kombination aus hoher Dichte und Zähigkeit, geeignet für leichte Panzerungsanwendungen.

Explosives Pressen ist ein hocheffizientes Pressverfahren für Hartmetall mit ultrahoher Dichte (90–95 % der theoretischen Dichte), das sich besonders für spezielle Anforderungen wie PVD-Ziele und kugelsichere Materialien eignet. Durch präzise Steuerung der Explosionsenergie (0,5–1 kg TNT), der Pulverpartikelgröße (1–1,5 µm) und der Wärmebehandlung (800 °C ± 10 °C) können leistungsstarke Grünkörper hergestellt werden, die nach dem Sintern eine theoretische Dichte von 99,5–100 % (Härte HRA 93–94) erreichen. Das Verfahren eignet sich gut für Bereiche mit hoher Wertschöpfung, ist jedoch aus Sicherheits- und Kostengründen auf die Kleinserienproduktion beschränkt.

5.1.27 Vibrationsverdichtung von Hartmetall

Prinzip der Vibrationsverdichtung von Hartmetall

Vibrationspressen ist ein pulvermetallurgisches Formgebungsverfahren, das Hochfrequenzvibrationen mit traditioneller Presstechnik kombiniert. Es ist speziell für Hartmetall (wie z. B. WC-Co-Mischpulver) konzipiert. Das Kernprinzip besteht darin, den unidirektionalen oder bidirektionalen Pressvorgang durch Hochfrequenzvibrationen (20–100 kHz) zu unterstützen, die üblicherweise von einem Ultraschallgenerator oder einem mechanischen Vibrationsgerät erzeugt werden. Vibrationen wirken auf die Pulverpartikel, verringern die Reibung zwischen den Partikeln, fördern ihre Neuordnung, füllen Lücken und verkleinern innere Poren, wodurch Füllichte und Kompressionseffizienz deutlich verbessert werden. Unter einem Druck von 100–300 MPa bildet das Pulver mithilfe der Vibration einen gleichmäßigeren und dichteren Grünling. Vibrationspressen eignet sich besonders für Pulver mit hoher Härte oder kleine Teile, da es den Dichtegradienten und die Defektprobleme beim traditionellen Pressen wirksam verbessern kann.

Vibrationsverdichtungsprozess von Hartmetall

Pulveraufbereitung

Mischen Sie WC- und Co-Pulver und fügen Sie 0,5 % Schmiermittel (z. B. Graphit) hinzu, um die Fließfähigkeit sicherzustellen.

Vibration und Kompression

Das Pulver wurde in die Form gefüllt und es wurden Vibrationen (50 kHz) angewendet und gleichzeitig wurde 10–20 s lang ein Druck von 200 MPa ausgeübt.

Entformen und Trocknen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nehmen Sie den grünen Rohling heraus und trocknen Sie ihn 2–4 Stunden lang bei 50–80 °C.

Sintern

Gesintert bei 1350–1450 °C, verdichtet auf 98–99 % der theoretischen Dichte.

Der einzigartige Vorteil des Vibrationspressens besteht darin, dass es die Dichte und Gleichmäßigkeit durch Vibrationsenergie verbessert, was für die Anforderungen kleiner und hochpräziser Teile geeignet ist.

Eigenschaften der Vibrationsverdichtung von Hartmetall

Das Vibrationspressen weist bei der Hartmetallherstellung folgende wesentliche Merkmale auf:

Dichteverbesserung

Die Dichte des Grünlings beträgt 65–75 % der theoretischen Dichte und ist damit 5–10 % höher als beim unidirektionalen Pressen. Nach dem Sintern kann die Dichte 98–99 % der theoretischen Dichte erreichen.

Fehlerreduzierung

Durch Vibration werden Poren und Delamination reduziert, die Festigkeit des Rohlings um 10–15 % erhöht und die Porosität auf das Niveau A00–B00 verringert.

Einfacher Prozess

Es kann mit vorhandenen Einweg- oder Zweiweg-Pressgeräten kombiniert werden, wobei die Umbaukosten gering sind (ca. 5–10 % der Kosten für die Geräteaufrüstung).

Anwendbarkeit

Es eignet sich besonders für kleine Teile oder Pulver mit hoher Härte (z. B. WC-Partikelgröße <1 µm) und verfügt über eine gewisse Anpassungsfähigkeit an komplexe Formen.

Einschränkung

Nicht geeignet für große oder sehr komplexe Geometrien, bei denen die Vibrationsfrequenz genau auf die Pulvereigenschaften abgestimmt werden muss.

Technische Parameter der Hartmetall-Vibrationsverdichtung

Nachfolgend sind die technischen Parameter des Vibrationspressens von Hartmetall aufgeführt, die auf der industriellen Praxis und experimentellen Daten basieren:

Druck

Bereich : 100–300 MPa, 200 MPa werden üblicherweise verwendet, um Dichte und Formlebensdauer auszugleichen.

Auswirkungen : Ein Druck von <100 MPa kann zu unzureichender Dichte führen (<60 % der theoretischen Dichte); ein Druck von >350 MPa kann zu Überdruckrisen führen.

Schwingungsfrequenz :

Bereich : 20–100 kHz, 50 kHz werden üblicherweise zur Optimierung der Partikelneuanordnung verwendet.

Auswirkungen : Zu niedrige Frequenzen (<20 kHz) haben nur eine begrenzte Wirkung; zu hohe Frequenzen (>120 kHz) können zu Partikelagglomeration oder Geräteüberlastung führen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pulvereigenschaften :

Partikelgröße : WC - Partikelgröße 0,5–2 μm , Co - Partikelgröße 0,5–1 μm , **Abweichung** der Mischungsgleichmäßigkeit <3 % (GB/T 19077.1-2008).

Co -Gehalt : 6–12 % , 8 % werden üblicherweise verwendet, um eine mäßige Zähigkeit zu erzielen.

Schmiermittel : Fügen Sie 0,5 % Graphit oder Stearinsäure hinzu, um den Reibungskoeffizienten auf <0,1 zu senken (experimentelle Daten).

Fließfähigkeit : 15–20 Sekunden/50 g (ähnlich ISO 4490:2018), wodurch eine gleichmäßige Füllung gewährleistet wird.

Presszeit :

Bereich : 10–20 Sekunden, einschließlich Vibration (5–10 Sekunden) und Hauptdruck (5–10 Sekunden).

Auswirkungen : Wenn die Zeit zu kurz ist (<8 Sekunden), ist die Dichte unzureichend; wenn die Zeit zu lang ist (>30 Sekunden), kann die Effizienz reduziert sein.

Schimmel Material :

Typ : Stahl mit hoher Härte (z. B. Cr12MoV, HRC 58 und höher) oder Hartmetallauskleidung.

Oberflächenbehandlung : Die Innenwand wird auf Ra < 0,2 μm (GB/T 1031-2009) poliert , um die Pulverhaftung zu verringern.

Geräteparameter :

Vibrationsgerät : Ultraschallgenerator oder mechanischer Vibrator, Leistung 2–5 kW, Frequenzgenauigkeit ± 2 kHz .

Presse : hydraulisch oder mechanisch, Druckbereich 100–400 MPa.

Steuerungssystem : SPS - Steuerung, Druckgenauigkeit ± 5 MPa, Schwingfrequenzabweichung <5 %.

Dichte des Rohlings :

Bereich : 65 % – 75 % der theoretischen Dichte (ca. 8,5–9,5 g/cm³ , gemäß GB/T 3850-2015).

Auswirkungen : Die Dichte nimmt mit zunehmender Vibrationsfrequenz und Druck zu und kann nach dem Sintern 98–99 % erreichen.

Vibrationsverdichtungsprozess von Hartmetall

Pulverzubereitung :

- Partikelgröße 0,5–2 μm , Co-Gehalt 6 %–12 %) und 12–24 Stunden lang in einer Kugelmühle mit einer Gleichmäßigkeitsabweichung von <3 % vermischt.

0,5 % Graphitschmiermittel hinzufügen, mischen und sieben (200 Maschenweite), und die Fließfähigkeit erreicht 15–20 Sekunden/50 g.

Vibration und Unterdrückung :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Das Pulver wurde in die Form gefüllt und 5–10 Sekunden lang mit einer Vibration von 50 kHz und 5–10 Sekunden lang mit einem Druck von 200 MPa beaufschlagt.

Die Formtemperatur wird auf 20–40 °C geregelt, um ein Anhaften des Pulvers zu vermeiden.

Entformen und Trocknen :

Nehmen Sie den grünen Rohling heraus und schneiden Sie ihn auf die gewünschte Größe (Genauigkeit $\pm 0,1$ mm).

2–4 Stunden bei 50–80 °C trocknen, um den Feuchtigkeitsgehalt auf $< 0,5$ % zu senken.

Sintern :

Sintern bei 1400 °C ± 10 °C, 1,5 Stunden halten, Vakuum oder Argon Atmosphäre, verdichten auf 98–99 % der theoretischen Dichte.

Anwendungsszenario

Vibrationspressen wird häufig zur Herstellung von Hartmetallrohlingen eingesetzt, die eine hohe Gleichmäßigkeit und geringe Größe erfordern. Die wichtigsten Anwendungsfälle sind:

Kleine Werkzeugrohlinge

Wie beispielsweise Hartmetall-Bohrerrohlinge und Mikrofräserrohlinge, die eine hohe Dichte und Gleichmäßigkeit erfordern.

Präzisionsteile

Wie etwa Hartmetallkerne oder verschleißfeste Teile, die in Formen oder Schneidwerkzeugen verwendet werden.

Fallstudie zur Vibrationsverdichtung von Hartmetall

Ein Unternehmen stellt WC-8%Co-Bohrerrohlinge (Durchmesser 10 mm, Höhe 15 mm) durch Vibrationspressen mit einer Vibrationsfrequenz von 50 kHz und einem Druck von 200 MPa her. Die Rohlingsdichte beträgt 72 % der theoretischen Dichte (ca. $9,2 \text{ g/cm}^3$), die Härte nach dem Sintern beträgt HRA 91, die Porosität A00. Der Rohling wird zum Bohren in hartem Gestein verwendet und hat eine Lebensdauer von > 1200 m.

Einflussfaktoren und Optimierungsstrategien der Hartmetall-Vibrationsverdichtung

Schwingungsfrequenz :

Auswirkungen : 50 kHz ± 2 kHz optimieren die Partikelumordnung, Frequenzen < 20 kHz haben eine begrenzte Wirkung; Frequenzen > 120 kHz können eine Partikelagglomeration verursachen (Zunahme der Partikelgröße > 10 %).

Optimierung : Anpassung entsprechend der Pulverpartikelgröße, 40–60 kHz für 1 μm Pulver, ausgestattet mit einem Frequenzkalibrator.

Druckregelung :

Aufprall : 200 MPa ± 5 MPa erhöhen die Dichte (65 % – 75 % der theoretischen Dichte), Druck

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

<100 MPa Dichte <60 %; Druck >350 MPa kann zu Formverformungen führen.

Optimierung : Verwenden Sie 200–250 MPa und passen Sie dies dynamisch an die Pulvereigenschaften an.

Pulvergröße :

Auswirkungen : Die Partikelgröße beträgt 0,5–2 µm . Bei zu großen Partikeln (> 3 µm) wird die Vibrationswirkung abgeschwächt; bei zu kleinen Partikeln (< 0,3 µm) kann es zu Überhitzung und Verklebung kommen .

Optimierung : Verwenden Sie WC-Pulver mit 0,8–1,5 µm , Co-Partikelgröße 0,5–1 µm und eine Mischgleichmäßigkeit von <2 % .

Schmiermittelverhältnis :

Auswirkungen : 0,5 % Graphit verringern die Reibung (<0,1), ein zu hoher Anteil (>1 %) verringert die Dichte, ein zu niedriger Anteil (<0,2 %) erhöht die Reibung.

Optimierung : Kontrollieren Sie bei 0,4 %–0,6 % und mischen Sie 2 Stunden lang, um die Gleichmäßigkeit sicherzustellen.

Presszeit :

Auswirkung : 10–20 Sekunden, Zeit < 8 Sekunden bedeutet unzureichende Dichte; Zeit > 30 Sekunden bedeutet verringerte Effizienz.

Optimierung : Auf 15 Sekunden einstellen (8 Sekunden für Vibration, 7 Sekunden für Hauptdruck) und entsprechend der Größe des Rohlings anpassen.

Vorsichtsmaßnahmen bei der Vibrationsverdichtung von Hartmetall

Vibrationsfrequenz optimieren : Je nach Pulverpartikelgröße anpassen (40 kHz für 0,5 µm und 60 kHz für 2 µm) , Agglomeration vermeiden und Vibrationsgenerator regelmäßig prüfen (Frequenzabweichung <5%).

Wartung der Ausrüstung : Überprüfen Sie den Vibrator und die Matrize monatlich, reinigen Sie die Pulverrückstände, kalibrieren Sie die Frequenz (±2 kHz) und den Druck (±5 MPa).

Schimmel Design : Innenwand poliert auf Ra<0,2 µm , Druckfestigkeit >400 MPa, um Verschleiß durch Vibrationen zu vermeiden.

Trocknungskontrolle : 2–4 Stunden bei 50–80 °C trocknen, Feuchtigkeitsgehalt <0,5 % , um Feuchtigkeitsaufnahme und Rissbildung zu verhindern.

Sicherer Betrieb : Vermeiden Sie eine Überlastung während des Betriebs der Vibrationsgeräte und begrenzen Sie die Leistung auf unter 5 kW.

Aktuelle Fallstudie zur Vibrationsverdichtung von Hartmetall

Ein Unternehmen nutzt das Vibrationspressverfahren zur Herstellung von WC-8%Co-Bohrerrohlingen (Durchmesser 10 mm, Höhe 15 mm) für Hartgesteinsbohrungen. Die Prozessparameter sind wie folgt:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Druck: 200 MPa \pm 5 MPa.

Vibrationsfrequenz: 50 kHz \pm 2 kHz.

Pulver: WC-Partikelgröße 1 μ m , Co-Gehalt 8 % \pm 0,5 % , Graphitschmiermittel 0,5 % \pm 0,1 %.

Sintern: 1400°C, Haltetemperatur 1,5 Stunden. Ergebnis: Gründichte 72% der theoretischen Dichte (ca. 9,2 g/cm³) , Sinterdichte 98,5% der theoretischen Dichte, Härte HRA 91, Porosität A00, Bohrerstandzeit >1200 m (Hartgestein, Druckfestigkeit 150 MPa).

Technische Anwendungspraxis der Hartmetall-Vibrationsverdichtung

Hartmetall-Bohrerrohling

Verfahren : WC-10 % Co-Bohrerrohlinge (8 mm Durchmesser, 12 mm Höhe) wurden durch Vibrationspressen bei einem Druck von 200 MPa und einer Frequenz von 50 kHz hergestellt.

Leistung : Nach dem Sintern beträgt die Härte HRA 90, die Dichte 98 % der theoretischen Dichte, die Porosität A00, es wird für Ölbohrungen verwendet und die Lebensdauer beträgt >1500 m.

Vorteile : Hohe Gleichmäßigkeit und Dichte verbessern die Schlag- und Verschleißfestigkeit des Bohrers.

Mikroformkern

Verfahren : WC-6%Co-Kerne (5 mm Durchmesser, 10 mm Höhe) wurden durch Vibrationspressen bei einem Druck von 180 MPa und einer Frequenz von 40 kHz hergestellt.

Leistung : Härte nach dem Sintern HRA 92, Dichte 98,5 % der theoretischen Dichte, Druckfestigkeit > 200 MPa, verwendet für Präzisionsstanzwerkzeuge.

Vorteile : Reduzierte Porosität und Delamination, längere Lebensdauer der Matrize (> 10.000 Stempel).

Vibrationspressen ist ein effizientes und wirtschaftliches Pressverfahren für Hartmetall. Durch hochfrequente Vibrationen (50 kHz \pm 2 kHz) und einen Druck von 200 MPa \pm 5 MPa kann die Rohlingdichte auf 65–75 % der theoretischen Dichte erhöht werden. Nach dem Sintern erreicht sie 98–99 % der theoretischen Dichte (Härte HRA 90–92). Das Verfahren eignet sich gut für die Herstellung kleiner Werkzeugrohlinge und Mikroformkerne und ist besonders für die Herstellung von hochharten Pulvern und kleinen Teilen geeignet. Durch Optimierung von Vibrationsfrequenz, Druck und Pulverpartikelgröße können Defekte deutlich reduziert und die Leistung verbessert werden.

5.1.28 Mehrachsiges nicht-isostatisches Pressen von Hartmetall (zB Vier- und Sechs-Wege-Pressen)

Das Prinzip des mehrdirektionalen Pressens von Hartmetall

Mehrdirektionales nicht-isostatisches Pressen ist eine fortschrittliche pulvermetallurgische Presstechnologie, die sich zum Formen von Hartmetall (wie WC-Co-Mischpulver) eignet. Das Kernprinzip besteht darin, durch mehrere Pressköpfe (normalerweise 4 oder 6, darunter vertikale und mehrere horizontale Richtungen) aus unterschiedlichen Winkeln nicht-isotropen Druck

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

auszuüben, wodurch die einseitige Kompression des herkömmlichen unidirektionalen oder bidirektionalen Pressens ersetzt wird. Die Druckverteilung wird durch ein Präzisionssteuersystem optimiert und angepasst. Jeder Presskopf kann die Kraft unabhängig voneinander regulieren und je nach Form- und Dichteanforderungen des Rohlings adaptiven Druck ausüben, wodurch eine gleichmäßige Kompression und Verdichtung im dreidimensionalen Raum erreicht wird. Anders als beim isostatischen Pressen ist der Druck beim mehrdirektionalen nicht-isostatischen Pressen nicht vollständig isotrop, sondern wird entsprechend den Designanforderungen abgestuft und gesteuert. Es eignet sich besonders für Hartmetallrohlinge mit komplexen Formen oder solchen, die eine lokal hohe Dichte erfordern. Nach dem Pressen wird der Rohling durch Sintern weiter auf ein Hochleistungsniveau verdichtet.

Der Prozess des mehrdirektionalen Pressens von Hartmetall

Pulvervorbereitung : WC- und Co - Pulver mischen, eine kleine Menge Schmiermittel hinzufügen und in die Form füllen.

Mehrdirektionales Pressen : Der Druck wird durch 4 oder 6 Pressköpfe (400–500 MPa vertikal, 300–400 MPa seitlich) für 10–20 Sekunden ausgeübt.

Entformen und Trocknen : Nehmen Sie den grünen Rohling heraus und trocknen Sie ihn 2–4 Stunden lang bei 50–80 °C.

Sintern : Sintern bei 1350–1450 °C, Verdichtung auf 98–99 % der theoretischen Dichte.

Die einzigartigen Vorteile dieses Verfahrens liegen in seiner flexiblen Druckverteilung und der Möglichkeit zur Kontrolle der hohen Dichte, wodurch es sich besonders für Hartmetallprodukte eignet, die eine hohe Gleichmäßigkeit und komplexe Geometrien erfordern.

Eigenschaften des mehrdirektionalen Pressens von Hartmetall

Das mehrdirektionale nicht-isostatische Pressen weist bei der Hartmetallherstellung folgende wesentliche Merkmale auf:

Hohe Dichte : Die Dichte des Grünlings beträgt 85–90 % der theoretischen Dichte, nahe an der kaltisostatischen Pressung, und kann nach dem Sintern 99–99,5 % der theoretischen Dichte erreichen.

Druckflexibilität : Durch die unabhängige Steuerung mehrerer Druckköpfe kann die Druckverteilung entsprechend den Anforderungen des Grünkörpers optimiert und der Dichtegradient (<2 %) reduziert werden.

Weniger Defekte : Das nicht-isostatische Pressdesign reduziert Delamination und Mikrorisse und erhöht die Festigkeit des Grünkörpers um 15–20 %.

Anwendbarkeit : Geeignet für mittelkomplexe Formen (wie etwa mehrschneidige Werkzeugrohlinge), mit gewissen Einschränkungen bei großen Größen oder ultrakomplexen Formen.

Anlagenkomplexität : Erfordert eine Mehrachsenpresse und ein Präzisionssteuerungssystem. Die Kosten sind höher als beim unidirektionalen oder bidirektionalen Pressen, jedoch niedriger als beim isostatischen Pressen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technische Parameter des Hartmetall-Mehrrichtungspressens

Nachfolgend sind die technischen Parameter des mehrdirektionalen nicht-isostatischen Pressens von Hartmetall aufgeführt, basierend auf der industriellen Praxis und experimentellen Daten:

Druck :

Bereich : 400–500 MPa vertikal, 300–400 MPa seitlich, das Druckverhältnis beträgt normalerweise 1:0,7:0,6:0,6 (Vierwege) oder 1:0,7:0,6:0,6:0,6:0,6 (Sechswwege).

Auswirkungen : Zu niedriger Druck (<300 MPa) führt zu unzureichender Dichte (<80 % der theoretischen Dichte); zu hoher Druck (>600 MPa) kann die Form beschädigen.

Pulvereigenschaften des mehrdirektionalen Pressens von Hartmetall :

Partikelgröße : WC - Partikelgröße 1–3 μm , Co - Partikelgröße 0,5–1 μm , **Abweichung** der Mischungsgleichmäßigkeit <3 % (GB/T 19077.1-2008).

Co -Gehalt : 6–10 % , üblicherweise 8–12 % , um Zähigkeit zu verleihen.

Schmiermittel : Fügen Sie 0,5–1 % Graphit oder Stearinsäure hinzu, um den Reibungskoeffizienten auf <0,15 zu senken.

Fließfähigkeit : 15–20 Sekunden/50 g (ähnlich der Norm ISO 4490:2018).

Anzahl und Richtung der Eindringkörper für das mehrdirektionale Pressen von Hartmetall :

Vierwegepressen : 1 vertikaler Presskopf, 3 horizontale Pressköpfe (120°-Verteilung) .

Sechs-Wege -Pressung : 1 vertikaler Presskopf, 5 horizontale Pressköpfe (72°-Verteilung).

Synchronizität : Die Abweichung der Druckkopfbewegung beträgt <0,5 mm, wodurch eine gleichmäßige Kompression gewährleistet wird.

Presszeit :

Bereich : 10–20 Sekunden, einschließlich Vorkomprimierung (5 Sekunden) und Hauptkomprimierung (5–15 Sekunden).

Auswirkungen : Wenn die Zeit zu kurz ist (<8 Sekunden), ist die Dichte ungleichmäßig; wenn die Zeit zu lang ist (>30 Sekunden), verringert sich die Effizienz.

Schimmel Material :

Typ : Hartmetall-Auskleidung (HRA 88 und höher) oder hochfester Stahl (HRC 60 und höher).

Oberflächenbehandlung : Innenwand poliert auf $Ra < 0,2 \mu\text{m}$ (**GB** /T 1031-2009), Druckfestigkeit >800 MPa.

Geräteparameter :

Presse : Mehrachsige Hydraulikpresse, Leistung 20–50 kW, Druckbereich 400–600 MPa.

Steuerungssystem : SPS-Regelung, Druckgenauigkeit $\pm 5 \text{ MPa}$, Verschiebungsgenauigkeit <0,01 mm .

Vibrationsunterstützung (optional): 20–50 kHz, verbessert die Partikelneuanordnung.

Dichte des Rohlings :

Bereich : 85 % – 90 % der theoretischen Dichte (ungefähr 10,8 – 11,4 g/cm^3 , gemäß GB/T 3850-

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2015).

Auswirkung : Die Dichte steigt mit der Anzahl der Pressköpfe und dem Druck und kann nach dem Sintern 99 % bis 99,5 % erreichen.

Der Prozessablauf des mehrdirektionalen Pressens von Hartmetall

Pulverzubereitung :

- Partikelgröße 1–3 μm , Co-Gehalt 6–12 %) und 12–24 Stunden lang in einer Kugelmühle mit einer Gleichmäßigkeitsabweichung von < 3 % vermischt.

0,5–1 % Graphitschmiermittel hinzufügen, mischen und sieben (200 Maschen), Fließfähigkeit 15–20 Sekunden/50 g.

Füllen der Form :

Das Pulver wird in eine Mehrrichtungspressform geladen und durch Vibrationsfüllung (50 Hz) wird die Dichte sichergestellt, wobei die Füllrate 70–80 % beträgt.

Um ein Anhaften des Pulvers zu vermeiden, heizen Sie die Form auf 20–40 °C vor.

Multidirektionale Unterdrückung :

Wenden Sie 10–20 Sekunden lang einen Vier- oder Sechswegedruck an (400 MPa vertikal und 300 MPa seitlich).

Der Gleichlauf des Pressenkopfes wird durch einen Servomotor mit einer Abweichung von <0,5 mm geregelt.

Entformen und Trocknen :

Nehmen Sie den grünen Rohling heraus und schneiden Sie ihn auf die gewünschte Größe (Genauigkeit $\pm 0,1$ mm).

2–4 Stunden bei 50–80 °C trocknen, um den Feuchtigkeitsgehalt auf <0,5 % zu senken.

Sintern :

Sintern bei 1400 °C ± 10 °C, 1,5 Stunden halten, Vakuum oder Argon Atmosphäre, verdichten auf 99 %–99,5 % der theoretischen Dichte.

Anwendungsszenarien des mehrdirektionalen Pressens von Hartmetall

Das multidirektionale nicht-isostatische Pressen eignet sich für Hartmetallrohlinge mit hoher Dichte und mittelkomplexen Formen. Die wichtigsten Anwendungsfälle sind:

Mehrschneidige Schneidwerkzeuge : wie komplexe Fräserrohlinge und Bohrerrohlinge, die eine hohe Gleichmäßigkeit und Dichte erfordern.

Präzisionsformteile : wie Stanzformkerne oder Ziehwerkzeuge, die eine lokal hohe Dichte erfordern .

Verschleißteile : wie Hartmetallauskleidungen oder Verschleißstreifen, die unter Hochbelastungsbedingungen eingesetzt werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Fallstudie zum multidirektionalen Pressen von Hartmetall

Ein bestimmtes Unternehmen produziert WC-12%Co-Mehrschneiden-Werkzeugrohlinge (Durchmesser 40 mm, Höhe 20 mm) durch Sechswegedpressen, vertikaler Druck 500 MPa, seitlicher Druck 400 MPa, Rohlingsdichte 90 % der theoretischen Dichte (ca. 11,4 g/cm³), Härte nach dem Sintern HRA 92, Porosität A00, für das Schneiden in der Luftfahrt, Lebensdauer > 1000 m.

Einflussfaktoren und Optimierungsstrategien beim mehrdirektionalen Pressen von Hartmetall

Druckverteilung :

Aufprall : 400–500 MPa vertikal, 300–400 MPa seitlich, Druckverhältnis 1:0,7:0,6, Abweichung >10 % führt zu Dichtegradienten >5 %.

Optimierung : Verwenden Sie ein Druckverhältnis von 1:0,75:0,65, ausgestattet mit einem Drucksensor, Abweichung $\leq \pm 5$ MPa.

Druckkopfsynchronisation :

Auswirkungen : Eine Abweichung von <0,5 mm gewährleistet eine gleichmäßige Kompression; eine Abweichung von >1 mm kann zu lokalem Überdruck (>600 MPa) führen.

Optimierung : Verwenden Sie eine Servomotorsteuerung und eine Echtzeitkalibrierung der Verschiebung (Genauigkeit < 0,01 mm).

Pulvergröße :

Auswirkungen : Die Partikelgröße beträgt 1–3 μm . Bei zu großen Partikeln (> 4 μm) ist die Dichte ungleichmäßig; bei zu kleinen Partikeln (< 0,5 μm) kann es zum Zusammenkleben kommen.

Optimierung : Verwenden Sie WC-Pulver mit 1,5–2,5 μm , Co-Partikelgröße 0,5–1 μm und eine Mischgleichmäßigkeit von <2 %.

Schmiermittelverhältnis :

Auswirkungen : 0,5–1 % Graphit verringern die Reibung (<0,15), ein zu hoher Anteil (>2 %) verringert die Dichte, ein zu niedriger Anteil (<0,3 %) erhöht den Verschleiß.

Optimierung : Kontrolliert auf 0,6 %–0,8 %, Mischzeit 2 Stunden.

Haltbarkeit der Form :

Schlagfestigkeit : Druckfestigkeit > 800 MPa, Ra < 0,2 μm kann die Pulverhaftung verringern, Verschleiß > 0,1 mm erfordert Austausch.

Optimierung : Überprüfen Sie die Form alle 500 Pressungen und tragen Sie eine verschleißfeste TiN -Schicht auf, um die Lebensdauer zu verlängern (> 10.000 Mal).

Vorsichtsmaßnahmen für das mehrdirektionale Pressen von Hartmetall

Eindringkörpersynchronisation : Abweichung <0,5 mm, regelmäßige Kalibrierung (einmal im Monat), um Risse durch lokalen Überdruck zu vermeiden.

Vibrationsunterstützung : Optionale 20–50-kHz-Vibration für verbesserte Partikelumordnung,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Frequenzabweichung < 5 % .

Schimmel Wartung : Alle 500 Mal den Verschleiß der Innenwände prüfen, auf Ra < 0,2 µ m polieren , Drucktest > 800 MPa.

Trocknungskontrolle : 2–4 Stunden bei 50–80 °C trocknen, Feuchtigkeitsgehalt <0,5 % , Feuchtigkeitsaufnahme verhindern.

Gerätesicherheit : Vermeiden Sie eine Überlastung , wenn die Mehrachsenmaschine läuft. Die Druckobergrenze ist auf 600 MPa eingestellt.

Praxisbeispiel für das mehrdirektionale Pressen von Hartmetall

Ein Unternehmen nutzt das Sechshege-Pressverfahren zur Herstellung von WC-12%Co-Mehrkant-Werkzeugrohlingen (Durchmesser 40 mm, Höhe 20 mm) für die Luftfahrtindustrie. Die Prozessparameter sind wie folgt:

Druck: 500 MPa vertikal, 400 MPa seitlich.

Unterdrückungszeit: 15 Sekunden.

Pulver: WC-Partikelgröße 2 µ m , Co-Gehalt 12 % ± 0,5 % , Graphitschmiermittel 0,8 % ± 0,1 % .

Sintern: 1450°C, Haltetemperatur 1,5 Stunden. Ergebnisse: Gründichte 90 % der theoretischen Dichte (ca. 11,4 g/cm³) , Sinterdichte 99,5 % der theoretischen Dichte, Härte HRA 92, Porosität A00, Schnittstandzeit >1000 m (Ti-Legierung, Schnittgeschwindigkeit 300 m/min).

Technische Anwendungspraxis des mehrdirektionalen Pressens von Hartmetall

Komplexe Fräserrohlinge :

Verfahren : WC-10 % Co-Fräserrohlinge (30 mm Durchmesser, 15 mm Höhe) wurden durch Sechshegepressen hergestellt, 450 MPa vertikal und 350 MPa seitlich.

Leistung : Nach dem Sintern beträgt die Härte HRA 91, die Dichte 99 % der theoretischen Dichte, die Porosität A00, es wird für die Luftfahrtverarbeitung verwendet und die Lebensdauer beträgt >800 m.

Vorteile : Mehrdirektionaler Druck optimiert die Dichte komplexer Klingen und reduziert Risse.

Verschleißfestes Futter :

Verfahren : WC-8 % Co-Liner (Dicke 10 mm, Fläche 100 cm²), hergestellt durch Vierhegepressen , 400 MPa vertikal und 300 MPa seitlich.

Leistung : Härte nach dem Sintern HRA 90, Verschleißfestigkeit > 500 Stunden (Belastung 50 N), Druckfestigkeit > 200 MPa.

Vorteile : Hohe Gleichmäßigkeit gewährleistet die Stabilität der Auskleidung bei hohen Belastungen.

Multidirektionales nicht-isostatisches Pressen (z. B. Vierhege- und Sechshegepressen) ist ein hochdichtes (85–90 % der theoretischen Dichte) und hochflexibles Hartmetall-Pressverfahren. Es ermöglicht eine gleichmäßige Kompression komplex geformter Rohlinge durch mehrere Pressköpfe (400–500 MPa vertikal und 300–400 MPa lateral) und erreicht nach dem Sintern eine theoretische Dichte von 99–99,5 % (Härte HRA 90–92). Es eignet sich gut für komplexe Fräserrohlinge und

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

verschleißfeste Auskleidungen und ist besonders für Anwendungen geeignet, die eine lokal hohe Dichte erfordern. Durch Optimierung der Druckverteilung, der Presskopfsynchronisation und der Pulverpartikelgröße können Qualität und Leistung des Rohlings deutlich verbessert werden.

5.1.29 Vergleichstabelle der Hartmetall-Pressverfahren

Pressvorgang	Merkmale	Verfahren	Ausrüstungsanforderungen	Leistungsindikatoren	Anwendbare Produkte	Vorteile und Nachteile
Einwegunterdrückung	- Einfach und effizient - Geringe Dichte (50 % – 65 % der theoretischen Dichte) - Leicht zu erzeugender Dichtegradient Geeignet für einfache Formen	1. Pulverfüllung 2. Einseitiger Druck (100-300 MPa) 3. Entformen und Trocknen 4. Sintern (1350-1450°C)	- Einachsige Hydraulikpresse Leistung 5-10 kW Matrize: Stahl mit hoher Härte (HRC 58)	- Gründichte: 50%-65% - Härte nach dem Sintern: HRA 88-90 Porosität: A02-B02	- Teile mit einfacher Geometrie (z. B. Schneideinsätze) - Beispiel: WC-8%Co-Einsatz (10 × 10 × 5 mm)	Vorteile : einfache Ausrüstung, niedrige Kosten, hohe Effizienz Nachteile : großer Dichtegradient (>10%), nicht geeignet für komplexe Formen
Zweiwege-Unterdrückung	- Gleichmäßiger als unidirektionalen Pressen - höhere Dichte (60 % – 75 % der theoretischen Dichte) - Geeignet für mittelkomplexe Formen	1. Pulverfüllung 2. Bidirektionaler Druck (200-400 MPa) 3. Entformen und Trocknen 4. Sintern (1350-1450°C)	- Zweiachsige Hydraulikpresse Leistung 10-20 kW Matrizen: Hartmetall (HRA 88)	- Gründichte: 60%-75% - Sinterhärte: HRA 89-91 Porosität: A02	- Mittelkomplexe Teile (zB Fräserrohlinge) - Beispiel: WC-10%Co Fräserrohling (20 mm Durchmesser)	Vorteile : Verbesserte Dichtegleichmäßigkeit (Gradient <5%) Nachteile : Immer noch nicht für hochkomplexe Formen geeignet, etwas kompliziertere Ausrüstung
Isostatisches Pressen (Kaltisostatisches Pressen)	- Hohe Gleichmäßigkeit - Hohe Dichte (75 % – 85 % der theoretischen Dichte) - Geeignet für komplexe Formen - Höhere Kosten	1. Pulverabfüllung 2. Isostatisches Pressen (200–400 MPa) 3. Beutelentfernung und Trocknen 4. Sintern (1350–1450 °C)	- Isostatische Presse - Druckfestigkeit > 500 MPa - Flüssiges Medium: Öl oder Wasser - Leistung 50-100 kW	- Gründichte: 75%-85% - Härte nach dem Sintern: HRA 90-92 Porosität: A00-B00	- Komplex geformte Teile (wie etwa Flugzeug-Werkzeugrohlinge) - Beispiel: WC-12%Co-Werkzeugrohling (Durchmesser 50 mm)	Vorteile : hohe Dichte, gute Gleichmäßigkeit, geeignet für komplexe Formen Nachteile : hohe Gerätekosten, langer Zyklus
Isostatisches	- Ultrahohe Dichte	1. Das	- HIP-Ausrüstung	- Porosität:	- Teile mit hoher	Vorteile : Extrem

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pressvorgang	Merkmale	Verfahren	Ausrüstungsanforderungen	Leistungsindikatoren	Anwendbare Produkte	Vorteile und Nachteile
Pressen (Heißisostatisches Pressen)	- Beseitigung von Mikroporen - Hohe Temperatur und hoher Druck (1350-1450°C, 100-200 MPa) - Extrem hohe Kosten	gesinterte Produkt in die HIP-Anlage laden. 2. Hohe Temperatur und hohen Druck anwenden (1400 °C, 150 MPa). 3. Abkühlen und Druck ablassen. 4. Fertigstellung	Innerer Hohlraum > 200 mm - Leistung > 150 kW - Druckmedium: Argon (Reinheit > 99,99%)	<0,03 % - Dichte: >99,8 % - Härte: HRA 92-94 - Lebensdauer: >20 Stunden	- Zuverlässigkeit (wie etwa Werkzeuge für die Luftfahrt, Bohrer für den Bergbau) - Beispiel: WC-10 % Co-Werkzeuge (Härte HV 2300)	hohe Dichte und Zuverlässigkeit. Nachteile : Hohe Kosten, eher für Nachbearbeitung - als für direktes Formen geeignet.
Formpressen	- Effiziente Massenproduktion - Mittlere Dichte (60 %-70 % der theoretischen Dichte) - Begrenzte Form	1. Pulverfüllung 2. Unidirektionaler oder bidirektionaler Druck (200 MPa) 3. Entformen und Trocknen 4. Sintern (1350-1450 °C)	- Pressmaschine - Leistung 5-15 kW - Form: Stahl mit hoher Härte (HRC 58)	-Gründichte: 60% -70% - Härte nach dem Sintern: HRA 90 - Porosität: A02	- Standardisierte Teile (wie Schneideinsätze) - Beispiel: WC-8%Co-Einsatz (10 × 10 × 5 mm)	Vorteile : hohe Effizienz, niedrige Kosten Nachteile : begrenzte Form, schneller Formverschleiß
Extrusion	- Flexible Form (längliche Form) - Entfettung erforderlich - Mittlere Dichte (55 % - 65 % der theoretischen Dichte) - Kontinuierliche Produktion	1. Pulver mit Binder gemischt (PVA 20%) 2. Extrusion (300 MPa, 1 m/min) 3. Zylinderheizung: 50-80°C 4. Entbindern Sintern	- Extruder - Druck 200-500 MPa - Matrizie: Hartmetall - Zylinderheizung: 50-80°C	- Rohdichte: 55%-65% - Sinterhärte: HRA 91 - Porosität: A02	- Lange Werkzeuge (z. B. Stangen) - Beispiel: WC-10%Co-Stange (5 mm Durchmesser, 300 mm Länge)	Vorteile : geeignet für schlanke Formen, kontinuierliche Produktion Nachteile : muss entfettet werden, komplexer Prozess

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pressvorgang	Merkmale	Verfahren	Ausrüstungsanforderungen	Leistungsindikatoren	Anwendbare Produkte	Vorteile und Nachteile
Spritzguss	- Hohe Präzision (Toleranz < 0,01 mm) - Komplexe Form - Geringe Dichte (50-60 % der theoretischen Dichte) - Viele Prozesse	1. Pulver mit Binder gemischt (POM 25%) 2. Injektion (80 MPa, 180°C) 3. Entbinderung 4. Sintern	- Spritzgussmaschine - Druck 50-120 MPa Form: H13-Stahl Zylinderheizung: 150-200 °C	- Gründichte: 50%-60% - Härte nach dem Sintern: HRA 92 - Porosität: A00-B00	- Mikroteile (wie Zahnräder) - Beispiel: WC-6%Co-Zahnrad (3 mm Durchmesser, 1 mm Dicke)	Vorteile : hohe Präzision, geeignet für komplexe Formen Nachteile : viele Prozesse, hohe Kosten
Trockensackpressen	- Hohe Gleichmäßigkeit - Hohe Dichte (70-75 % der theoretischen Dichte) - Höhere Effizienz als isostatisches Pressen - Nasssack - Eingeschränkte Form	1. Pulverabfüllung in Trockenbeute 2. Pressen (300 MPa) 3. Entformen und Trocknen 4. Sintern (1350-1450°C)	- Isostatische Trockensackpresse - Druck 200-400 MPa Form : Gummi (Shore A 70)	- Gründichte: 70%-75% - Härte nach dem Sintern: HRA 90 - Porosität: A00-B00	- Mittelgroße Teile (zB Lagerhülsen) - Beispiel: WC-8%Co-Lagerhülse (50 mm Durchmesser)	Vorteile : gute Gleichmäßigkeit, hohe Effizienz Nachteile : begrenzte Form, mittlere Gerätekosten
Multidirektionale Unterdrückung	- Gleichmäßige Dichte (75-80 % der theoretischen Dichte) - Wenige Defekte - Geeignet für mittelkomplexe Formen	1. Pulverfüllung 2. Mehrdirektionaler Druck (vertikal 400 MPa, lateral 300 MPa) 3. Entformen und Trocknen 4. Sintern	- Mehrachspressen Leistung 15-30 kW Matrize: Hartmetallbeschichtet	- Rohdichte: 75%-80% - Sinterhärte: HRA 91 - Porosität: A00-B00	- Komplexe Werkzeugrohlinge (zB Mehrschneidenfräser) - Beispiel: WC-8%Co Werkzeugrohling (30 mm Durchmesser)	Vorteile : hohe Gleichmäßigkeit, wenige Defekte Nachteile : komplexe Ausrüstung, hohe Kosten
Multidirektionales nicht-isostatisches Pressen	- Hohe Dichte (85 % - 90 % der theoretischen Dichte) - Flexibler Druck - Geeignet für lokale Anforderungen an	1. Pulverfüllung 2. Vier-/Sechs-Wege-Druck (vertikal 500 MPa, lateral	- Mehrachsige Hydraulikpresse - Leistung 20-50 kW - Steuerungssystem: SPS, Genauigkeit < 0,01 mm	- Gründichte: 85%-90% - Härte nach dem Sintern: HRA 92 - Porosität: A00	- Mehrschneidige Werkzeugrohlinge (zB Fräserrohlinge) - Beispiel: WC-12%Co Fräserrohling	Vorteile : hohe Dichte, flexibler Druck Nachteile : komplexe Ausrüstung, hohe Kosten

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pressvorgang	Merkmale	Verfahren	Ausrüstungsanforderungen	Leistungsindikatoren	Anwendbare Produkte	Vorteile und Nachteile
	hohe Dichte	400 MPa) 3. Entformen und Trocknen 4. Sintern			(Durchmesser 40 mm)	
Rollformen	- Kontinuierliche Produktion Einstellbare Dicke (0,5-5 mm) Geringe Dichte (50-60 % der theoretischen Dichte)	1. Pulverzufuhr 2. Walzen (100 MPa, 10 U/min) 3. Walzmaschine 4. Sintern (1350-1450°C)	3. Walzmaschine Walzen: Hartmetall (HRC 60)	- Gründichte: 50%-60% Sinterhärte: HRA 89 Porosität: A02	- Dünoblechzuschnitt (zB verschleißfestes Beschichtungssubstrat) - Beispiel: WC-10%Co-Dünoblech (Dicke 2 mm, Breite 100 mm)	Vorteile : kontinuierliche Produktion, einfache Ausrüstung Nachteile : geringe Dichte, nicht geeignet für komplexe Formen
Explosionsunterdrückung	- Ultrahohe Dichte (90-95 % der theoretischen Dichte) Sofortiges Formen (<1 Millisekunde) Hohe Sicherheitsanforderungen	1. Pulverbehälter 2. Explosion (TNT 0,5-1 kg) 3. Wärmebehandlung 4. Sintern (1400°C)	- Explosionskammer Behälter: Hochfester Stahl (Dicke 15 mm) Sicherheitsabstand: > 500 m	- Gründichte: 90%-95% Härte nach dem Sintern: HRA 94 Porosität: A00	- Hochleistungsteile (wie PVD-Targets) Beispiel: WC-6%Co-Target (Durchmesser 100 mm, Dicke 5 mm)	Vorteile : Ultrahohe Dichte, hohe Effizienz Nachteile : Hohe Sicherheitsanforderungen, hohe Kosten, Wärmebehandlung zur Reparatur von Mikrorissen erforderlich
Vibrationsunterdrückung	- Dichteverbesserung (65 % - 75 % der theoretischen Dichte) - Weniger Defekte - Geringe Transformationskosten	1. Pulverfüllung 2. Vibration (50 kHz) + Druck (200 MPa) 3. Entformen und Trocknen 4. Sintern	- Vibrationspresse Vibrator: 2-5 kW, Frequenz 20-100 kHz 3. - Matrize: Stahl mit hoher Härte	- Gründichte: 65 %-75 % Sinterhärte: HRA 91 Porosität: A00-B00	- Kleine Werkzeugrohlinge (z. B. Bohrerrohlinge) - Beispiel: WC-8%Co Bohrerrohling (Durchmesser 10 mm, Höhe 15 mm)	Vorteile : höhere Dichte, weniger Defekte, geringe Änderungskosten Nachteile : nicht für große Teile geeignet, Frequenzoptimierung ist erforderlich

5.1.30 Umfassende Analyse und Zusammenfassung des Hartmetall-Pressprozesses

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hartmetall-Pressverfahren (unidirektionales Pressen, bidirektionales Pressen, isostatisches Pressen, Formpressen, Extrusionsformen, Spritzgießen, Trockensackpressen, multidirektionales Pressen, multidirektionales nicht-isostatisches Pressen, Rollformen, Explosionspressen, Vibrationspressen), die Aspekte wie Eigenschaften, Prozessablauf, Geräteanforderungen, Leistungsindikatoren, anwendbare Produkte, Vorteile und Nachteile abdecken.

1. Dichte und Gleichmäßigkeit

Höchste Dichte : Explosives Pressen (90 %–95 % der theoretischen Dichte) und multidirektionales nicht-isostatisches Pressen (85 %–90 % der theoretischen Dichte) erzielen die beste Leistung und sind für hohe Leistungsanforderungen geeignet.

Homogenität : Isostatisches Pressen (kalt/heiß) und multidirektionales nicht-isostatisches Pressen weisen die beste Homogenität auf (Dichtegradient < 2 %) und eignen sich für komplexe Formen und hohe Qualitätsanforderungen .

Geringe Dichte : Walzformung und Spritzguss (50–60 % theoretische Dichte), die durch anschließendes Sintern ausgeglichen werden muss.

2. Anwendbarkeit und Formkomplexität

Komplexe Formen : Spritzguss (Toleranz < 0,01 mm) und isostatisches Pressen eignen sich für hochkomplexe Formen, wie etwa Mikrozahnräder und komplexe Werkzeugrohlinge.

Schlanke Formen : Das Extrusionsformen ist speziell für Stangen und Rohre mit einer Länge von bis zu mehreren Metern konzipiert.

Dünne Bleche/große Flächen : Das Rollformen eignet sich für dünne Bleche mit präziser Dickenkontrolle (0,5–5 mm).

Einfache Formen : Einwegpressen und Formpressen eignen sich für standardisierte Teile mit hoher Effizienz, aber begrenzten Formen.

3. Produktionseffizienz und Kosten

Hohe Effizienz : Rollformen und Extrusionsformen unterstützen eine kontinuierliche Produktion und eignen sich für große Mengen.

Niedrige Kosten : Einwegpress-, Kompressionsform- und Rollformgeräte sind einfach und verursachen geringe Wartungskosten.

Hohe Kosten : Explosionspressen und heißisostatisches Pressen sind aufgrund der Ausrüstungs- und Sicherheitsanforderungen mit hohen Kosten verbunden und eignen sich für kleine Chargen von Produkten mit hoher Wertschöpfung.

4. Fehler und Leistung

Wenigste Defekte : Heißisostatisches Pressen (Porosität < 0,03 %), multidirektionales nichtisostatisches Pressen und Vibrationspressen (Porosität A00-B00) weisen wenige Defekte auf und eignen sich für hohe Zuverlässigkeitsanforderungen.

Hohe Leistung : Explosionspressen (Härte HRA 94) und heißisostatisches Pressen (Härte HRA 92-94) bieten die beste Leistung und sind für extreme Arbeitsbedingungen geeignet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Geräte- und Prozesskomplexität

Einfache Ausrüstung : Einwegpress-, Kompressionsform- und Rollformgeräte sind einfach und leicht zu vermarkten.

Komplexe Ausrüstung : Mehrdirektionales nicht-isostatisches Pressen und explosives Pressen erfordern mehrachsige Maschinen oder spezielle Explosionsanlagen und sind mit hohen technischen Hürden verbunden.

Komplexer Prozess : Spritzguss und Extrusionsformen erfordern eine Entfettung, daher sind mehr Schritte erforderlich.

6. Vergleich der Anwendungsgebiete

Luftfahrt/Hohe Zuverlässigkeit : Heißisostatisches Pressen, multidirektionales nicht-isostatisches Pressen und Explosionspressen, um den Anforderungen von Werkzeugen, Zielen usw. in der Luftfahrt gerecht zu werden.

Industrielle Charge : unidirektionales Pressen, Formpressen, Rollformen, geeignet für Schneidklingen, verschleißfeste Beschichtungssubstrate.

Mikropräzision : Spritzguss und Vibrationspressen, geeignet für Mikrozahnräder und Bohrohlinge .

Die Auswahl des Hartmetall-Pressverfahrens sollte auf der Produktform, den Leistungsanforderungen, dem Produktionsumfang und dem Kostenbudget basieren:

Hohe Dichte/hohe Leistungsanforderungen : Explosionspressen, heißisostatisches Pressen, multidirektionales nichtisostatisches Pressen.

Komplexe Formen/hohe Präzision : Spritzguss, isostatisches Pressen, multidirektionales Pressen.

Großes Volumen/einfache Formen : unidirektionales Pressen, Formpressen, Fließformen.

Schlanke Form : Extrudiert.

Kleine Größe/hohe Gleichmäßigkeit : Vibrationspressen, Trockensackpressen .

Durch die Optimierung von Prozessparametern (wie Druck, Vibrationsfrequenz, Bindemittelanteil) und Ausrüstung (wie Formdesign, Steuerungssystem) können Presswirkung und Produktqualität weiter verbessert werden.

5.2 Hartmetall-Sinterprozess

Der Sinterprozess von Hartmetall verdichtet den Rohling (Dichte $> 99,5 \% \pm 0,1 \%$, ISO 3369-2006), optimiert die Mikrostruktur (WC-Kornabweichung $< 5 \% \pm 1 \%$, Co-Phasenverteilung $> 95 \% \pm 1 \%$, ASTM B657-16) und erreicht eine hohe Härte (HV 1500–2500 ± 30 , ISO 3369-2006) durch hohe Temperaturen (1350–1500 $^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, ISO 4489:2009, Sintern ist der Prozess, bei dem Pulverpartikel diffundieren und sich bei hoher Temperatur zu dichten Materialien verbinden) und eine spezielle Atmosphäre (Vakuum $< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$, relevante Prozessanforderungen von GB/T 1479.1-2011, Vakuumumgebung reduziert Oxidation; Ar Reinheit $> 99,99 \% \pm 0,01 \%$, GB/T 4325-2018) zur Optimierung der Mikrostruktur (WC-Kornabweichung $< 5 \% \pm 1 \%$, Co-Phasenverteilung $> 95 \% \pm 1 \%$, ASTM B657-16) und erreicht eine hohe Härte (HV 1500–2500 ± 30 , ISO 3738-1:1982) , Zähigkeit ($K_{1c} 8\text{--}20 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009) und Festigkeit ($> 4000 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, GB/T 3851-2015).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

In diesem Abschnitt werden das Vakuumsintern von Hartmetall, das heißisostatische Pressintern von Hartmetall, das Mikrowellensintern von Hartmetall und das Spark-Plasma-Sintern (SPS) von Hartmetall analysiert und die Prozessoptimierung und -anwendung in Kombination mit Thermodynamik und Kinetik erörtert.

5.2.0 Traditionelles Hartmetall-Sinterverfahren

5.2.0.0 Geschichte des traditionellen Hartmetall-Sinterprozesses

Das traditionelle Sinterverfahren für Hartmetall entstand Anfang des 20. Jahrhunderts mit der rasanten Entwicklung der Pulvermetallurgie. 1909 stellte der deutsche Gelehrte Schröter erstmals den Prototyp von Hartmetall her, indem er Wolframkarbid mit Eisenmetallen (wie Co) mischte und sinterte. 1923 begann Krupp in Osnabrück mit der industriellen Produktion – die Geburtsstunde des Hartmetalls. Seitdem wurde das Verfahren in den 1930er und 1950er Jahren, insbesondere während des Zweiten Weltkriegs, häufig zur Herstellung von Schneidwerkzeugen und Panzerungsmaterialien eingesetzt. Das frühe Verfahren basierte auf einfachen Widerstandsöfen und wurde manuell betrieben. In den 1960er Jahren wurde das Verfahren mit der Einführung der Vakuumtechnologie und des Wasserstoffschutzes schrittweise verbessert, behielt aber seine traditionellen Merkmale in seinen Grundzügen bei und nimmt in einigen kleinen und mittleren Unternehmen bis heute eine wichtige Stellung ein.

5.2.0.1 Prinzip des traditionellen Hartmetall- Sinterprozesses

Das traditionelle Sinterverfahren für Hartmetall basiert auf dem Flüssigphasensinterprinzip der Pulvermetallurgie, bei dem Pulverpartikel durch hohe Temperaturen zu dichten Materialien verbunden werden. Der Kernmechanismus umfasst:

Festphasendiffusion

In der Anfangsphase der Erwärmung (<1350 °C) kommt es zwischen den WC-Partikeln zur Atomdiffusion und es bildet sich eine vorläufige Skelettstruktur.

Flüssigphasensintern

Bei Temperaturen zwischen 1350 und 1400 °C schmilzt Kobalt und bildet eine flüssige Phase, die in die WC-Partikel eindringt, die Poren füllt und die Partikelumlagerung fördert. Der Anteil der flüssigen Phase beträgt üblicherweise 10–20 % (abhängig vom Co-Gehalt), was die Bindung durch Kapillarkwirkung und den Lösungs-Fällungsmechanismus verbessert.

Verfestigung und Wachstum

Während des Abkühlungsprozesses verfestigt sich die flüssige Phase und die WC-Körner wachsen leicht (1-3 µm), wodurch eine stabile Mikrostruktur entsteht.

Atmosphäreneffekt

Vakuum oder Wasserstoffatmosphäre entfernt Oxide, verhindert Entkohlung oder Bildung der η-Phase ($\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) und gewährleistet einen ausgewogenen Kohlenstoffgehalt (5-6 % Gew.).

5.2.0.2 Prinzip und Aufbau einer herkömmlichen Sinteranlage für Hartmetall

Der traditionelle Sinterprozess basiert hauptsächlich auf der folgenden Ausrüstung:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Traditioneller Hartmetall-Sinterwiderstandsofen

Prinzip : Zur Erzeugung hoher Temperaturen werden elektrische Heizelemente (z. B. Silizium-Kohlenstoffstäbe oder Molybdändrähte) eingesetzt, die Wärme wird durch Strahlung und Konvektion auf den Rohling übertragen.

Aufbau : Er besteht aus einem Ofen (aus feuerfestem Material wie Aluminiumoxid), Heizelementen, Isolierung und Vakuum-/Gaseinlass. Das Ofenvolumen beträgt im Allgemeinen 0,5–2 m³ und der Temperaturbereich liegt zwischen 600 und 1500 °C.

Merkmale : Einfache Struktur, geringer thermischer Wirkungsgrad (ca. 50–60 %), Heizelemente müssen regelmäßig ausgetauscht werden.

Konventionelles Vakuumsystem zum Sintern von Hartmetall

Prinzip : Die Kombination aus mechanischer Pumpe und Diffusionspumpe reduziert den Druck im Ofen auf 0,1–1 Pa und entfernt Sauerstoff und Feuchtigkeit.

Aufbau : Enthält Vakuumpumpe, Ventile und Druckmesser, angeschlossen an den Ofen.

Merkmale : Hohe Wartungskosten und strenge Dichtungsanforderungen.

Traditionelles Wasserstoffschutzsystem aus gesintertem Hartmetall

Prinzip: Reduzieren Sie die Oxidation, indem Sie die Luft durch einen Wasserstoffstrom (10–20 m³/h) ersetzen.

Aufbau : Gasflasche, Durchflussmesser und Lufterlassrohr, ausgestattet mit einer einfachen Abluftvorrichtung.

Besonderheiten : Achten Sie beim Betrieb auf die Wasserstoffsicherheit und die Geräte sind relativ rau.

Schale und Form : Aus Graphit oder Keramik, hochtemperaturbeständig und chemisch inert, stützt den Rohling und überträgt die Wärme.

5.2.0.3 Eigenschaften des traditionellen Hartmetallsinterns

Prozessmerkmale :

Da der Prozess manuell abläuft, werden die Prozessparameter (wie Temperatur und Zeit) meist auf Basis von Erfahrungswerten angepasst.

Der Heiz-, Wärmespeicher- und Kühlvorgang dauert 6–10 Stunden und der Produktionszyklus ist lang.

Die Atmosphärenkontrolle ist einfach, üblicherweise wird Vakuum oder Wasserstoff verwendet und einige Prozesse können in Luft durchgeführt werden.

Merkmale :

Die Dichte beträgt typischerweise 13,5–14,5 g/cm³ (95–98 % der theoretischen Dichte).

Korngröße 1–3 μm, Porosität A04–B02, Härte HRA 85–90.

Die Mikrostruktur kann η-Phase oder freien Kohlenstoff enthalten und die Qualitätskonsistenz ist schlecht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2.0.4 Vorteile und Nachteile des traditionellen Hartmetall-Sinterprozesses

Vorteile :

Niedrige Kosten : geringe Ausrüstungsinvestition (etwa 50.000–100.000 Yuan/Einheit für Widerstandsofen), geringer Rohstoffbedarf und einfache Wartung.

Breite Anwendbarkeit : Geeignet für kleine und mittlere Unternehmen oder die Produktion von Produkten der unteren Preisklasse, wie beispielsweise einfache Messer und verschleißfeste Teile.

Ausgereifte Technologie : Das Verfahren wird seit Hunderten von Jahren praktiziert und ist für Bediener ohne komplizierte Schulung einfach anzuwenden.

Nachteile :

Geringe Effizienz : langer Produktionszyklus (24–48 Stunden/Charge) und die Leistung wird durch den Ofen begrenzt.

Instabile Qualität : Die Parameterkontrolle beruht auf Handarbeit, Dichte und Porosität schwanken stark und es ist schwierig, die Anforderungen an hohe Präzision zu erfüllen.

Mangelhafter Umweltschutz : Abgase (wie CO) werden ohne Behandlung direkt abgeleitet und die Verflüchtigung von Lösungsmitteln führt zu Umweltverschmutzung.

Sicherheitsrisiken : Die Verwendung von Wasserstoff **kann** zu Leckagen führen und die ungleichmäßige Wärmeableitung herkömmlicher Öfen kann leicht zu lokaler Überhitzung führen.

Das traditionelle Hartmetall-Sinterverfahren entstand im frühen 20. Jahrhundert. Es basiert auf dem Prinzip des Flüssigphasensinterns und nutzt einen einfachen Widerstandsofen und ein Vakuum-/Wasserstoffsystem. Die Anlage ist grob strukturiert, aber kostengünstig. Sie zeichnet sich durch ausgereifte Technologie, aber eingeschränkte Effizienz und Qualität aus. Ihre Vor- und Nachteile spiegeln deutlich ihre Übergangsposition in der modernen Industrie wider.

5.2.0.5 Einführung in den Hartmetall-Wasserstoff-Sinterofen

(1) Struktur

Ofenkörper :

Schale: Stahlblechschweißung, Dicke 6–10 mm, korrosionsbeständige Beschichtung.

Ofen: Hochreiner Graphit oder Aluminiumoxid, 0,5–2 m³, Temperaturbeständigkeit >1600°C.

Wärmedämmschicht: Feuerfeste Faser, Dicke 50–150 mm.

Heizungssystem :

Heizelemente: Molybdän- oder Wolframdrähte, entlang der Innenwand verteilt, Leistung 10–100 kW.

Heizmethode: Widerstandsstrahlungswärmeübertragung, Temperatur bis zu 1500 °C.

Wasserstoffschutzsystem :

Gasversorgung: hochreiner Wasserstoffzylinder, Durchflussrate 10–50 m³/h.

Luft einlass und -auslass: Einlass unten, Auslass oben, mit Sicherheitsventil.

Dichtungsaufbau: wassergekühlter oder luftgekühlter Dichtring, Druck 0,1–0,5 bar.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Tablett und Halterung :

Material: Graphit oder Aluminiumoxidkeramik, mehrschichtig, Abstand 5–10 cm, Tragkraft 50–300 kg.

Steuerungssystem :

Temperaturregelung: Thermoelement + PID-Temperaturregler, Genauigkeit ± 10 °C.

Atmosphärenüberwachung: Sauerstoffanalysator oder Durchflussmesser.

Sicherheitseinrichtungen: Wasserstoffsensoren, Gasabsperrentil, Brandschutzschnittstelle.

(2) Konventionelle Spezifikationen

Ofenabmessungen : Länge 1–2 m, Breite 0,5–1 m, Höhe 0,5–1 m, Volumen 0,5–2 m³ .

Nennleistung : 10–100 kW , Spannung 380 V Drehstrom.

Temperaturbereich : Raumtemperatur bis 1500 °C, üblicherweise 1350–1450 °C.

Wasserstoffdurchflussrate : 10–50 m³/h, Reinheit > 99,9 % , Druck 0,1–0,5 bar.

Palettengröße : einlagig Länge 0,8–1,5 m, Breite 0,4–0,8 m , Tragkraft 50–100 kg/Lage, 3–5 Lagen.

Ofengewicht : 2–5 Tonnen .

Kühlsystem : Wassergekühlter Mantel, Durchflussrate 5–10 m³/h, Wassertemperatur <40 °C .

Regelgenauigkeit : Temperatur ± 10 °C, Druck $\pm 0,05$ bar, Durchfluss ± 2 m³/h .

(3) Merkmale

Prozessmerkmale :

Temperatur: 600–1500 °C, Flüssigphasensintern 1350–1450 °C.

Zyklus: 7–12 Stunden (Aufheizen 2–4 Stunden, Warmhalten 1–2 Stunden, Abkühlen 4–6 Stunden).

Atmosphäre: Wasserstoff reduziert Oxide und hält den Kohlenstoffgehalt bei 5–6 % Gew .

Merkmale :

Dichte: 13,8–14,5 g/ cm³, Porosität A02–B02.

Korngröße: 1–2,5 μ m , Härte HRA 88–92.

Mikrostruktur: weniger η -Phase und freier Kohlenstoff.

Betriebsmerkmale :

Wasserstoff und Temperatur werden manuell eingestellt und eine ungleichmäßige Wärmeverteilung erfordert eine Kalibrierung.

(4) Sicherheitsvorkehrungen

Wasserstoffmanagement :

Stellen Sie sicher, dass die Wasserstoffreinheit >99,9 % und der Flaschendruck <15 MPa beträgt, um Leckagen zu vermeiden.

Während des Betriebs ist offenes Feuer strengstens verboten, im Umkreis von 5 m sind Rauchen und Feuerquellen verboten.

Überprüfen Sie die Dichtungen und Rohrleitungen, die Leckrate beträgt <0,01 Pa·m³/s.

Sicherheitsüberwachung :

Wasserstoffsensoren (Nachweisgrenze 0,05 %), Alarm und Unterbrechung der Gaszufuhr bei einer Konzentration >0,4 %.

Der Abluftanschluss ist in einer Höhe von >10 m mit der Außenluft verbunden, um die Abgase

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sicher abzuführen.

Betriebsschutz :

Tragen Sie antistatische Arbeitskleidung, hitzebeständige Handschuhe und eine Schutzbrille.
Überprüfen Sie das Wasserkühlsystem , Wasserdurchfluss > 5 m³/h, um eine Überhitzung zu vermeiden.

Notfallmaßnahmen :

Ausgestattet mit einem Absperrventil und Stickstoffersatz, wird im Falle eines Lecks die Wasserstoffzufuhr unterbrochen und Stickstoff durchgeleitet.

Feuerlöscher (Trockenpulver oder CO₂) und Hydranten sind vorhanden und die Durchgangsbreite beträgt >2 m.

Aufrechterhaltung der Sicherheit :

Vor dem Öffnen des Ofens auf <50 °C abkühlen lassen, um Verbrennungen zu vermeiden.

Heizelemente und Thermolemente auf Kurzschlüsse prüfen.

(5) Vorteile und Nachteile

Vorteile :

Der Reduktionseffekt ist gut und verbessert Reinheit und Qualität.

Die Kosten sind kontrollierbar (100.000–200.000 Yuan/Einheit) und der thermische Wirkungsgrad beträgt 60–70 %.

Es hat ein breites Anwendungsspektrum und eignet sich für eine Vielzahl von Formulierungen.

Nachteile :

Sicherheitsrisiko: Wasserstoff ist brennbar und muss streng überwacht werden.

Die Regelgenauigkeit ist mit einer Temperaturabweichung von ±10°C begrenzt.

Schlechte Umweltverträglichkeit, erfordert eine Behandlung von CO und H₂ O.

Die Wartung ist aufwendig und Dichtungen sowie Bauteile unterliegen einem Verschleiß.

5.2.0.6 Vorbereitung und Anforderungen des im Hartmetall-Wasserstoff-Sinterofen verwendeten Wasserstoffs

1. Herstellung von Wasserstoff

Herstellung durch Elektrolyse:

Prinzip: Elektrolyse von Wasser (H₂ O) zur Erzeugung von H₂ und O₂ .

Verfahren: Verwenden Sie deionisiertes Wasser + 10–20 % KOH, 4–6 V, Nickel-/Edelstahlelektroden, Gaswäsche zum Entfernen von Verunreinigungen.

Ertrag: 0,4-0,5 m³/kWh.

Eigenschaften: Reinheit 99,8–99,9 %, niedrige Kosten, begrenzte Effizienz.

Aufbereitung durch Erdgasreformierung:

Prinzip: CH₄ + H₂O erzeugt unter einem Nickelkatalysator CO+ 3H₂ und wandelt dann CO+ H₂O → CO₂ + H₂ um.

Verfahren: 500–1000 °C, PSA-Trennung, Reinheit 99,99 %.

Leistung: mehrere hundert m³/h.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Merkmale: niedrige Kosten, erfordert CO₂- Behandlung.

Rückgewinnung industrieller Nebenprodukte:

H₂ aus Chloralkali oder Raffination.

Verfahren: Kompression + Reinigung, Reinheit 99,5–99,9 %.

Merkmale: Hohe Ressourcenauslastung und instabile Versorgung.

Herstellung durch Ammoniakzersetzungsmethode:

Prinzip: $2\text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2$, Zersetzung von flüssigem Ammoniak bei hoher Temperatur.

Verfahren: Vergasung von flüssigem Ammoniak, 750–900 °C, Zersetzung von Katalysatoren auf Eisen-/Nickelbasis, Reinigung durch Molekularsieb auf 99,9 %.

Leistung: 1800–2000 m³ Wasserstoff pro Tonne flüssigem Ammoniak.

Merkmale: Die Ausrüstung ist kompakt, flüssiges Ammoniak lässt sich leicht lagern und stickstoffhaltiges Gas muss abgetrennt werden.

Lagerung und Transport:

Auf 15–20 MPa komprimiert, in 40–50-Liter-Flaschen oder Rohrbündelwagen unter Einhaltung der Transportvorschriften gelagert.

2. Wasserstoffbedarf

Reinheitsanforderungen:

Reinheit $\geq 99,9\%$ (vorzugsweise 99,99 %), Verunreinigungen: O₂ < 10 ppm, H₂O < 20 ppm, CO < 5 ppm, H₂S < 1 ppm, NH₃ < 5 ppm, N₂ < 100 ppm.

Taupunkt und Kontrolldaten:

Taupunkt: < -60°C (vorzugsweise < -70°C), Wasserdampf < 20 ppm (vorzugsweise < 5 ppm).

Taupunkt -60°C: Wasserdampf ca. 20 ppm.

Taupunkt -70°C: Wasserdampf ca. 5 ppm.

Taupunkt -80°C: Wasserdampf ca. 1 ppm.

Kontrollmethode:

Molekularsiebtrockner (4A Molekularsieb, Taupunkt < -70°C) oder Gefriertrockner (-80°C).

Online-Taupunktmessgerät (Kaltspiegeltyp, Genauigkeit $\pm 0,2$ °C) zur Echtzeitüberwachung.

Das Molekularsieb wurde alle 1000 Stunden regeneriert (200 °C, Stickstoffspülung für 4 Stunden).

Auswirkungen: Taupunkte > -50 °C (Wasserdampf > 50 ppm) können zur Oxidation (WO₃) führen, wodurch das Risiko der η-Phase steigt.

Durchflussanforderungen:

m³/h im Betrieb, 60–80 m³/h beim Luftaustausch, Sauerstoff < 0,1%.

Druckanforderungen:

0,1–0,5 bar im Ofen, 15–20 MPa in der Gasflasche und < 0,6 bar am Ausgang.

Temperaturanpassungsfähigkeit:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bei einer Raumtemperatur von 20–30 °C geliefert, sind Rohrleitungen von -20 °C bis 150 °C belastbar.

Sicherheits- und Lagerungsanforderungen:

In einem belüfteten Lagerhaus lagern, <40 °C, <100 Flaschen, ausgestattet mit einem Alarm.

3. Vorbereitung und Handhabung während der Nutzung

Vorbereitung vor Ort:

Kleines Elektrolyse- oder Ammoniakzersetzungsgesetz + Reiniger, Reinheit > 99,9 %, Taupunkt < -60 °C.

Gasquellenumschaltung:

Die beiden Gasflaschen schalten automatisch um, um den Durchfluss stabil zu halten.

Regelmäßige Tests:

Reinheit (Gaschromatographie) und Taupunkt (Kaltspiegelmethode) werden monatlich geprüft und die Leckrate der Pipeline beträgt <0,01 Pa·m³/s.

Wenn der Taupunkt anormal ist (>-60°C), ersetzen Sie das Trockenmittel oder überprüfen Sie das Reinigungssystem.

4. Hinweise

Zubereitungssicherheit:

Das Elektrolyseverfahren verhindert Kurzschlüsse, das Reformierungsverfahren kontrolliert die Temperatur und das Ammoniakzersetzungsgesetz überwacht 750–900 °C, um die Katalysatoraktivität zu prüfen.

Sicherheit im Gebrauch:

Stickstoffaustausch > 30 Minuten, Schutzkleidung tragen, Zündquellen vermeiden und Taupunkt < -60°C sicherstellen.

Umweltschutzbehandlung:

Das Abgas wird mit Alkali gewaschen oder verbrannt, CO < 50 ppm, und das Abgas aus der Ammoniakzersetzung enthält N₂, das verdünnt werden muss.

5.2.1 Technische Parameter und Prinzipien des Vakuumsinterns von Hartmetall

Das Vakuumsintern von Hartmetall wird in einem Vakuumofen (Druck <10⁻² Pa ±10⁻³ Pa, Leistung >100 kW ±10 kW, „ISO 4489:2009“) bei einer Temperatur von 1350–1500 °C ±10 °C, einer Heizrate von 5–10 °C/min ±0,5 °C/min (die Heizrate ist die Geschwindigkeit, mit der sich die Temperatur mit der Zeit ändert, was die Gleichmäßigkeit des Sintervorgangs beeinflusst) und einer Haltezeit von 1–3 Stunden ±0,1 Stunden durchgeführt. Der Block wird durch Flüssigphasensintern verdichtet (Flüssigphasensintern ist der Prozess des Schmelzens der Bindephase, um eine flüssige Phase zu bilden und die Partikelbindung zu fördern) und erreicht eine Dichte von 14,0–14,8 g/cm³ ± 0,1 g/cm³ (> 99,5 % ± 0,1 % theoretische Dichte, ISO 3369-2006).

5.2.2 Prozessschritte beim Vakuumsintern von Hartmetall

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Durch das Entbindern (300–500 °C ± 10 °C)

werden Schmiermittel entfernt und Kohlenstoffrückstände vermieden (<0,1 % ± 0,01 %, ASTM B657-16; beim Entbindern werden organische Zusatzstoffe vor dem Sintern entfernt, um die Reinheit des Materials nicht zu beeinträchtigen).

Durch Festphasensintern (800–1200 °C ± 10 °C)

wird die Bindung der Partikeloberfläche durch Diffusion verbessert (Festigkeit > 50 MPa ± 5 MPa, Festphasensintern ist der Prozess der Festkörperdiffusionsbindung zwischen Partikeln) und die Porosität wird auf 20 % ± 2 % reduziert (ASTM B657-16).

Flüssigphasensintern (1350–1500 °C ± 10 °C)

Co schmilzt, benetzt WC, fördert die Neuordnung der Partikel und die Auflösungs- und Wiederausfällung (Auflösungs- und Wiederausfällung ist der Prozess, bei dem sich kleine Partikel auflösen und auf größeren Partikeln wieder ablagern, wodurch die Kornverteilung optimiert wird).

5.2.3 Praxisbeispiel für das Vakuumsintern von Hartmetall

$\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, Co 10 % ± 1 %), gesintert bei 1450 °C ± 10 °C mit einer Porosität von <0,1 % ± 0,02 % (ASTM B657-16) für Luftfahrtwerkzeuge (Schnittgeschwindigkeit >300 m/min ± 10 m/min, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), Verschleiß <0,08 mm ± 0,02 mm, Lebensdauer >18 h ± 1 h.

5.2.4 Einflussfaktoren auf das Vakuumsintern von Hartmetall und Optimierungsstrategien

Eine Sintertemperatur von

1450 °C ± 10 °C gleicht Dichte und Kornwachstum aus (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010); > 1550 °C ± 10 °C löst WC-Wachstum aus (> 1 $\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, ASTM B657-16) und die Härte verringert sich um 5 % ± 1 % (HV < 2100 ± 30, ISO 3738-1:1982).

Eine Haltezeit von

2 Stunden ± 0,1 Stunden stellt sicher, dass die Porosität < 0,1 % ± 0,02 % (ASTM B657-16) beträgt; > 4 Stunden ± 0,1 Stunden erhöht die Co-Verflüchtigung (> 0,5 % ± 0,1 %, experimentelle Daten) und die Zähigkeit verringert sich um 3 % ± 0,5 % ($K_{1c} < 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009).

Vakuumgrad

< $10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$ verringert die Oxidation (O < 0,03 % ± 0,01 %, GB/T 4325-2018); > $10^{-1} \text{ Pa} \pm 10^{-2} \text{ Pa}$ verringert die Reinheit (> 0,1 % ± 0,02 %, experimentelle Daten) und die Festigkeit nimmt um 2 % ± 0,5 % ab (GB/T 3851-2015).

Rohdichte

von < 0,5 % ± 0,1 % gewährleistet ein gleichmäßiges Sintern (Härteabweichung < ± 30 HV, ISO 3738-1:1982); > 1 % ± 0,2 % führt zu lokaler Porosität (> 0,3 % ± 0,05 %, ASTM B657-16).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Der Zusatz 0,5 % ± 0,01 %

VC /Cr₃C₂ hemmt das Kornwachstum (<0,3 μm ± 0,01 μm , Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) und erhöht die Härte um 5 % ± 1 % (ISO 3738-1:1982); eine zu hohe Menge (> 1 % ± 0,01 %) erzeugt eine spröde Phase (wie z. B. V₆C₅ , Härte HV < 1500 ± 50, Acta Materialia , Vol. 58, 2010).

5.2.5 Optimierungsstrategie des Vakuumsinterns von Hartmetall

Präzise Temperaturkontrolle (1450 °C ± 10 °C, ISO 4489:2009), Hochvakuum (<10⁻² Pa ± 10⁻³ Pa, GB/T 1479.1-2011), Zugabe von 0,3–0,5 % ± 0,01 % VC (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) und gleichmäßiger Block (Dichteabweichung < 0,3 % ± 0,1 % , GB/T 3850-2015).

5.2.6 Technische Anwendungspraxis für das Vakuumsintern von Hartmetall

Luftfahrtwerkzeuge

1450 °C ± 10 °C vakuumgesintert, Härte HV 2300 ± 30, „ISO 3738-1:1982“, Bearbeitung von Hochtemperaturlegierungen (1000 °C ± 10 °C, „International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010“), Verschleiß <0,08 mm ± 0,02 mm, Lebensdauer >18 Stunden ± 1 Stunde.

Bergbaubohrer

gesintert bei 1500°C ± 10°C, Zähigkeit K_{1c} >20 MPa·m^{1/2} ± 0,5, „ISO 28079:2009“, Granitbohren (Schlagfrequenz >10³ Hz ± 100 Hz, „International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, Vol. 28, 2010“), Lebensdauer >1500 m ± 100 m.

Verschleißfeste Matrize,

gesintert bei 1450 °C ± 10 °C, Festigkeit > 4200 MPa ± 100 MPa, „GB/T 3851-2015“, Kaltfließpressen > 10⁶-fach ± 10⁵-fach, „Wear, Vol. 267, 2009“, Verformung < 0,01 mm ± 0,002 mm.

5.2.7 Technische Parameter und Prinzipien des heißisostatischen Presssinterns von Hartmetall

Das heißisostatische Presssintern von Hartmetall wird bei 1350–1450 °C ± 10 °C und 100–200 MPa ± 5 MPa durchgeführt, unter Verwendung von Argon (Ar , Reinheit > 99,99 % ± 0,01 % , GB/T 4325-2018; Durchflussrate 50 l/min ± 5 l/min, experimentelle Daten) als Druckmedium und die Haltezeit beträgt 1–2 Stunden ± 0,1 Stunden. Die HIP-Ausrüstung (innerer Hohlraum > 200 mm ± 5 mm, Leistung > 150 kW ± 10 kW, ISO 13703:2000) eliminiert Sinterporosität durch isotropen Druck (Abweichung < 1 % ± 0,2 % , Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010) und die Dichte erreicht 14,8–15,0 g/cm³ ± 0,1 g/cm³ (> 99,8 % ± 0,1 % theoretische Dichte, ISO 3369-2006).

5.2.8 Heißisostatischer Presssintermechanismus von Hartmetall

Aufgrund des plastischen Fließens unter hohem Druck (Dehnungsrate 10⁻⁴ s⁻¹ ± 10⁻⁵ s⁻¹ , Acta

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Materialia , Bd. 58, 2010) und der Diffusionsbeschleunigung (Koeffizient $10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, Bd. 92, 2009) wird die Porosität deutlich verringert (Verringerung um $>50\% \pm 5\%$, Materials Science and Engineering A, Bd. 527, 2010), wodurch die Zuverlässigkeit verbessert wird.

5.2.9 Aktuelle Fallstudie zum heißisostatischen Pressen von Hartmetall

Das HIP-Verfahren bei $1400 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$, $150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, 1 Stunde $\pm 0,1$ Stunde erzeugt Hartmetall (WC $0,3 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,01 \text{ }\mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008; Co $10\% \pm 1\%$, GB/T 5124-2017) mit einer Porosität von $<0,03\% \pm 0,01\%$ (ASTM B657-16) für Luftfahrtwerkzeuge (Schnittgeschwindigkeit $> 300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), Härte HV 2300 ± 30 und Lebensdauer > 20 Stunden ± 1 Stunde.

5.2.10 Einflussfaktoren auf das heißisostatische Pressintern von Hartmetall und Optimierungsstrategien

Drücke von

$150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ beseitigen Porosität wirksam ($<0,03\% \pm 0,01\%$, ASTM B657-16); $<100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ haben eine unzureichende Wirkung (Porosität $>0,1\% \pm 0,02\%$); $>200 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ erhöhen die Gerätekosten ($>10^6 \text{ \$} \pm 10^5 \text{ \$}$, Branchenschätzung).

Bei einer Temperatur

von $1400 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ werden Verdichtung und Kornwachstum ausgeglichen (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010); bei $>1500 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ kommt es zum WC-Wachstum ($>0,5 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,01 \text{ }\mu\text{m}$, ASTM B657-16) und die Härte nimmt um $3\% \pm 0,5\%$ ab (HV $<2100 \pm 30$, ISO 3738-1:1982).

eine Haltezeit von

1 Stunde $\pm 0,1$ Stunde ausreichend; bei > 2 Stunden $\pm 0,1$ Stunden erhöht sich der Energieverbrauch ($> 500 \text{ kWh/t} \pm 50 \text{ kWh/t}$, Industriedaten).

der Knüppelmasse

$<1\% \pm 0,2\%$ verbessert die HIP-Effizienz (Porosität auf $0,02\% \pm 0,005\%$ reduziert, ASTM B657-16); $>2\% \pm 0,2\%$ erfordert einen höheren Druck ($>180 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, ISO 13703:2000).

Atmosphäre

Ar- Reinheit $> 99,99\% \pm 0,01\%$, um Oxidation zu vermeiden (O $< 0,02\% \pm 0,005\%$, GB/T 4325-2018); N₂ (Reinheit $< 99,9\% \pm 0,01\%$) erhöht Nitrid ($> 0,1\% \pm 0,02\%$, experimentelle Daten).

5.2.11 Optimierungsstrategie für das heißisostatische Pressintern von Hartmetall

Der Prozess wurde wie folgt ausgewählt: $1400 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$, $150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, 1 Stunde $\pm 0,1$ Stunde (ISO 13703:2000), $0,5\% \pm 0,01\%$ VC wurden hinzugefügt (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) und hochreines Argon ($> 99,99\% \pm 0,01\%$, GB/T 4325-2018) wurde verwendet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2.12 Anwendung des heißisostatischen Presssinterns von Hartmetall im Maschinenbau

Luftfahrtwerkzeug

HIP (1400 °C ± 10 °C, 150 MPa ± 5 MPa, ISO 13703:2000), Härte HV 2300 ± 30, ISO 3738-1:1982), Bearbeitung von Hochtemperaturlegierungen (1000 °C ± 10 °C, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), Lebensdauer > 20 Stunden ± 1 Stunde.

Bergbaubohrer

HIP (1450 °C ± 10 °C, 200 MPa ± 5 MPa, ISO 13703:2000), Zähigkeit $K_{1c} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009), Bohrlebensdauer in hartem Gestein > 1800 m ± 100 m.

Verschleißfestes Matrizen-

HIP (1400 °C ± 10 °C, 150 MPa ± 5 MPa, ISO 13703:2000), Festigkeit > 4200 MPa ± 100 MPa, GB/T 3851-2015), Kaltfließpressen > 10⁶-fach ± 10⁵-fach, Wear, Vol. 267, 2009).

5.2.13 Technische Parameter und Prinzipien des Mikrowellensinterns von Hartmetall

Beim Mikrowellensintern von Hartmetall wird ein Mikrowellenofen verwendet (Frequenz 2,45 GHz ± 0,01 GHz, Leistung 10–50 kW ± 1 kW, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009), Temperatur 1300–1400 °C ± 10 °C, Heizrate 50–100 °C/min ± 5 °C/min, Isolationszeit 0,5–1 Stunde ± 0,05 Stunde (Mikrowellensintern ist eine Sintertechnologie, bei der Mikrowellenenergie verwendet wird, um das Innere des Materials direkt zu erhitzen). Mikrowellen erhitzen sich direkt durch den dielektrischen Verlust von WC-Partikeln (Absorptionsrate > 80 % ± 2 %, experimentelle Daten), die Energieausnutzung beträgt > 90 % ± 2 % (Journal of Materials Processing Technology, Vol. 210, 2010) und die Dichte erreicht 14,5–14,8 g/cm³ ± 0,1 g/cm³ (> 99,5 % ± 0,1 %, „ISO 3369-2006“).

5.2.14 Mikrowellensintermechanismus von Hartmetall

Der thermodynamische Vorteil des Mikrowellensinterns liegt in der gleichmäßigen Erwärmung (Temperaturabweichung < ± 5 °C, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 210, 2010) und der Erzielung einer ultrafeinen Kornstruktur (WC < 0,3 µm ± 0,01 µm, GB/T 19077.1-2008) durch effiziente Erwärmung.

5.2.15 Praktische Fallstudie zum Mikrowellensintern von Hartmetall

Durch Mikrowellensintern (1350 °C ± 10 °C, 0,5 h ± 0,05 h) entsteht Hartmetall (WC 0,3 µm ± 0,01 µm, GB/T 19077.1-2008; Co 10 % ± 1 %, GB/T 5124-2017) mit einer Porosität von < 0,1 % ± 0,02 % (ASTM B657-16) für Luftfahrtwerkzeuge (Schnittgeschwindigkeit > 300 m/min ± 10 m/min, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), Härte HV 2300 ± 30, Lebensdauer > 15 h ± 1 h.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2.16 Einflussfaktoren und Optimierungsstrategien für das Mikrowellensintern von Hartmetall

Eine Temperatur von $1350\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$ gewährleistet eine Verdichtung ($> 99,5\% \pm 0,1\%$, ISO 3369-2006); eine Temperatur von $> 1450\text{ °C}$

$C \pm 10\text{ °C}$ löst ein Kornwachstum ($> 0,5\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, ASTM B657-16) und eine Härtereduzierung von $3\% \pm 0,5\%$ ($HV < 2100 \pm 30$, ISO 3738-1:1982) aus.

Eine Heizrate von

$50\text{--}100\text{ °C/min} \pm 5\text{ °C/min}$ verringert die thermische Spannung ($< 50\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, Materials Science and Engineering A, Vol. 527, 2010); $> 150\text{ °C/min} \pm 5\text{ °C/min}$ verursacht Risse ($> 1\% \pm 0,2\%$, experimentelle Daten).

Bei Barrengrößen

$< 50\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ist ein Temperaturgradient zu vermeiden ($> 10\text{ °C/cm} \pm 1\text{ °C/cm}$, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 210, 2010); bei Barrengrößen $> 100\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ist eine Zonenerwärmung erforderlich (Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009).

Der Zusatz

$0,3\% \pm 0,01\%$ VC kontrolliert die Korngröße ($< 0,3\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) und erhöht die Härte um $5\% \pm 1\%$ (ISO 3738-1:1982).

5.2.17 Optimierungsstrategie für das Mikrowellensintern von Hartmetall

Die Temperatur betrug $1350\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, $50\text{ °C/min} \pm 5\text{ °C/min}$ (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) und es wurden $0,3\% \pm 0,01\%$ VC hinzugefügt (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010).

5.2.18 Technische Anwendung des Mikrowellensinterns von Hartmetall

von Luftfahrtwerkzeugen

($1350\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), Härte $HV 2300 \pm 30$, ISO 3738-1:1982), Bearbeitung von Ti-Legierungen ($1000\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), Lebensdauer $> 15\text{ Stunden} \pm 1\text{ Stunde}$.

5.2.19 Technische Parameter und Prinzipien des Spark-Plasma-Sinterns von Hartmetall

Beim Funkenplasmasintern (SPS) von Hartmetall werden Gleichstromimpulse (Spannung $5\text{--}10\text{ V} \pm 0,1\text{ V}$, Stromstärke $1000\text{--}5000\text{ A} \pm 100\text{ A}$, „Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009“), eine Temperatur von $1200\text{--}1350\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, ein Druck von $50\text{--}100\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$ und eine Haltezeit von $5\text{--}10\text{ min} \pm 0,1\text{ min}$ verwendet (Funkenplasmasintern ist eine Technologie, bei der Materialien mithilfe von elektrischen Impulsen und Druck schnell gesintert werden). SPS

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

beschleunigt die Diffusion (Koeffizient $\sim 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s}$, Acta Materialia, Vol. 58, 2010) durch Plasmaaktivierung (elektrische Feldstärke $> 10^3 \text{ V/m} \pm 100 \text{ V/m}$, experimentelle Daten) und Joule-Erhitzung (Leistung $> 10 \text{ kW} \pm 1 \text{ kW}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), Dichte $> 99,8 \% \pm 0,1 \%$ (ISO 3369-2006) und Korngröße bleibt $< 0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (GB/T 19077.1-2008) erhalten.

5.2.20 Funkenplasmasintermechanismus von Hartmetall

SPS senkt die Sintertemperatur (um $\sim 100 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009) durch Hochspannung und elektrisches Feld und erreicht so eine ultrafeine Kornstruktur und effiziente Verdichtung.

5.2.21 Aktuelle Fallstudie zum Funkenplasmasintern von Hartmetall

SPS ($1300 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, $5 \text{ min} \pm 0,1 \text{ min}$) erzeugt Hartmetall (WC $0,2 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008; Co $10 \% \pm 1 \%$, GB/T 5124-2017) mit einer Härte von HV 2400 ± 30 (ISO 3738-1:1982) für PCB-Bohrer (Lochdurchmesser $< 0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, 2009) mit einer Lebensdauer von $> 10^5$ Löchern $\pm 10^4$ Löchern.

5.2.22 Einflussfaktoren und Optimierungsstrategien des Spark-Plasma-Sinterns von Hartmetall

Druck

$50\text{--}100 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ erhöht die Dichte ($> 99,8 \% \pm 0,1 \%$, ISO 3369-2006); $> 150 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$ schädigt die Form (Lebensdauer $< 10^3\text{-mal} \pm 100\text{-mal}$, Wear, Vol. 267, 2009).

Haltezeit 5–10 Minuten $\pm 0,1$ Minuten zur Kontrolle

der Korngröße ($< 0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008); > 15 Minuten $\pm 0,1$ Minuten zur Reduzierung der Härte um $2 \% \pm 0,5 \%$ (ISO 3738-1:1982).

Stromstärke

$3000 \text{ A} \pm 100 \text{ A}$. Gleichgewicht zwischen Heizleistung ($> 90 \% \pm 2 \%$, experimentelle Daten) und Gerätelebensdauer ($> 10^4\text{-fach} \pm 10^3\text{-fach}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009).

Das Formmaterial

ist Graphitform (Leitfähigkeit $> 10^4 \text{ S/m} \pm 10^3 \text{ S/m}$, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 210, 2010), um einen gleichmäßigen Strom zu gewährleisten (Abweichung $< 5 \% \pm 1 \%$, experimentelle Daten).

5.2.23 Optimierungsstrategie des Spark-Plasma-Sinterns von Hartmetall

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Bedingungen waren $1300\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, $50\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, $5\text{ min} \pm 0,1\text{ min}$ (Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009) und es wurden $0,3\% \pm 0,01\%$ VC hinzugefügt (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010).

5.2.24 Technische Anwendung des Funkenplasmasinterns von Hartmetall

PCB-Bohrer

SPS ($1300\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, $50\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009), Härte $\text{HV } 2400 \pm 30$, ISO 3738-1:1982), Bohren $> 10^5$ Löcher $\pm 10^4$ Löcher, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, 2009), Genauigkeit $< 0,01\text{ mm} \pm 0,002\text{ mm}$.

Verschleißfeste Beschichtung

SPS ($1250\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), WC $0,2\text{ }\mu\text{m} \pm 0,01\text{ }\mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008), Sprühbindungsfestigkeit $> 70\text{ MPa} \pm 5\text{ MPa}$, Surface and Coatings Technology, Vol. 204, 2010), Lebensdauer von Flugturbinenschaufeln $> 5000\text{ Stunden} \pm 500\text{ Stunden}$ (Industriedaten).

5.3 Sintermechanismus von Hartmetall

Der Sintermechanismus von Hartmetall offenbart das Wesentliche der Verdichtung (Dichte $> 99,5\% \pm 0,1\%$, ISO 3369-2006), der Mikrostrukturentwicklung (WC-Kornabweichung $< 5\% \pm 1\%$, ASTM B657-16) und der Eigenschaftsoptimierung (Härte $\text{HV } 1500-2500 \pm 30$, ISO 3738-1:1982), die den Diffusionsprozess des Flüssigphasensinterns und die Kontrolle des Kornwachstums beinhaltet.

5.3.1 Technische Parameter und Prinzipien des Flüssigphasensinterns von Hartmetall

Das Flüssigphasensintern von Hartmetall erfolgt oberhalb des Schmelzpunkts von Co ($1320\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$, CRC Handbook of Chemistry and Physics, 2024). Co bildet eine flüssige Phase (Viskosität $10^{-3}\text{ Pa}\cdot\text{s} \pm 10^{-4}\text{ Pa}\cdot\text{s}$, Journal of Materials Science, Bd. 45, 2010), benetzt die WC-Partikel (Kontaktwinkel $< 10^\circ \pm 1^\circ$, Acta Materialia, Bd. 58, 2010) und treibt die Neuordnung und Diffusion der Partikel voran.

5.3.2 Prozessschritte beim Flüssigphasensintern von Hartmetall

Partikelumlagerung ($1350\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$)

Flüssiges Co (Volumenanteil $5-30\% \pm 1\%$, ASTM B657-16) füllt die Lücken zwischen den Partikeln, die Partikel gleiten (die Porosität sinkt auf $10\% \pm 1\%$, ASTM B657-16), Umlagerungsrate $\sim 10^{-3}\text{ }\mu\text{m}/\text{s} \pm 10^{-4}\text{ }\mu\text{m}/\text{s}$ (Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009).

Auflösung und Wiederausfällung ($1400\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$)

WC löst sich teilweise in Co (Löslichkeit $5\% \pm 0,5\%$, experimentelle Daten), kleine Partikel lösen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sich auf (Oberflächenenergie $> 1 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), große Partikel fallen aus (Diffusionskoeffizient $10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009) und die Porosität verringert sich auf $< 1 \% \pm 0,2 \%$ (ASTM B657-16).

Festkörperdiffusion (1450 °C \pm 10 °C)

Die Co-Phase verfestigt sich und die WC-Co-Grenzfläche wird durch Festkörperdiffusion verstärkt (Koeffizient $\sim 10^{-11} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010, Festkörperdiffusion ist der Prozess der Atommigration in der festen Phase) (Bindungsstärke $> 50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, experimentelle Messung), Dichte $> 99,5 \% \pm 0,1 \%$ (ISO 3369-2006).

5.3.3 Aktuelle Fallstudie zum Flüssigphasensintern von Hartmetall

Hartmetall mit $10 \% \pm 1 \% \text{ Co}$ (1450 °C \pm 10 °C, 2 Stunden \pm 0,1 Stunden, ISO 4489:2009) hat nach dem Sintern eine Porosität von $< 0,1 \% \pm 0,02 \%$ (ASTM B657-16), eine Härte von HV 2300 ± 30 (ISO 3738-1:1982) und wird für Luftfahrtwerkzeuge verwendet (Schnittgeschwindigkeit $> 300 \text{ m/min} \pm 10 \text{ m/min}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010) mit einer Lebensdauer von > 18 Stunden \pm 1 Stunde.

5.3.4 Faktoren, die das Flüssigphasensintern von Hartmetall beeinflussen, und Optimierungsstrategien

Ein Co-Gehalt von

$10 \% \pm 1 \%$ sorgt für eine ausreichende Flüssigphase ($> 5 \% \pm 0,5 \%$ Volumenanteil, ASTM B657-16), Dichte $> 99,5 \% \pm 0,1 \%$ (ISO 3369-2006); eine Flüssigphase von $< 5 \% \pm 1 \%$ ist unzureichend (Porosität $> 0,5 \% \pm 0,1 \%$, ASTM B657-16), Dichte $< 99 \% \pm 0,2 \%$ (ISO 3369-2006).

Eine Sintertemperatur von

1450 °C \pm 10 °C optimiert die Diffusion ($> 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{s} \pm 10^{-10} \text{ cm}^2/\text{s}$, Journal of Materials Science, Bd. 45, 2010); $> 1550 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ löst eine Co-Verflüchtigung aus ($> 0,5 \% \pm 0,1 \%$, experimentelle Daten) und die Festigkeit verringert sich um $3 \% \pm 0,5 \%$ (GB/T 3851-2015).

Atmosphärenvakuum

($< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$, GB/T 1479.1-2011) verringert die Oxidation (O $< 0,03 \% \pm 0,01 \%$, GB/T 4325-2018); Argon (Reinheit $> 99,99 \% \pm 0,01 \%$, GB/T 4325-2018) ist für HIP geeignet und hemmt die Karbidersetzung ($< 0,1 \% \pm 0,02 \%$, ASTM B657-16).

Eine WC-Partikelgröße

$< 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ erhöht die Auflösungsrate ($> 10^{-9} \text{ m/s} \pm 10^{-10} \text{ m/s}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009) und die Härte steigt um $5 \% \pm 1 \%$ (ISO 3738-1:1982); $> 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ erhöht die Zähigkeit um $3 \% \pm 0,5 \%$ ($K_{1c} > 18 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009).

Zusatz

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

0,5 % ± 0,01 % VC reduziert die Grenzflächenenergie ($< 0,5 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), Dichte erhöht sich um 0,2 % ± 0,05 % (ISO 3369-2006); Cr_3C_2 (0,5 % ± 0,01 %) scheidet sich an der Grenzfläche ab (Dicke $< 3 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010), wodurch die Grenzflächenbindung verbessert wird ($> 60 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, experimentelle Daten).

5.3.5 Optimierungsstrategie des Flüssigphasensinterns von Hartmetall

Es wurden Co 10 % ± 1 % (GB/T 5124-2017), $1450 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ (ISO 4489:2009), Vakuum $< 10^{-2} \text{ Pa} \pm 10^{-3} \text{ Pa}$ (GB/T 1479.1-2011) und eine Zugabe von 0,3 % – 0,5 % ± 0,01 % VC (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) ausgewählt.

5.3.6 Technische Anwendung des Flüssigphasensinterns von Hartmetall

von Luftfahrtwerkzeugen

($1450 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, Co 10 % ± 1 %, ISO 4489:2009), Härte HV 2300 ± 30, ISO 3738-1:1982), Bearbeitung von Hochtemperaturlegierungen ($1000 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), Lebensdauer $> 18 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$.

Bergbaubohrer

($1500 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, Co 12 % ± 1 %, ISO 4489:2009), Zähigkeit $K_{1c} > 20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009), Bohrlebensdauer in hartem Gestein $> 1500 \text{ m} \pm 100 \text{ m}$.

Verschleißfeste Form,

Flüssigphasensintern ($1450 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, Co 8 % ± 1 %, ISO 4489:2009), Festigkeit $> 4200 \text{ MPa} \pm 100 \text{ MPa}$, GB/T 3851-2015), Extrusion $> 10^6$ -fach ± 10^5 -fach, Wear, Vol. 267, 2009).

5.3.7 Parameter und Prinzipien der Hartmetall-Kornwachstums- und Unterdrückungstechnologie

Das Wachstum der Carbidkörner erfolgt durch Ostwald-Reifung, kleine Partikel (Oberflächenenergie $> 1 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010, Kornwachstum ist der Prozess des Partikelgrößenwachstums beim Sintern, Oberflächenenergie ist der Energiebeitrag der Partikeloberfläche zur Bindung der Atome) lösen sich auf, große Partikel fallen aus, Wachstumsrate $\sim 10^{-9} \text{ m/s} \pm 10^{-10} \text{ m/s}$ (Acta Materialia, Vol. 58, 2010), was sich auf die Härte (HV 1500-2500 ± 30, ISO 3738-1:1982) und Zähigkeit ($K_{1c} 8-20 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, ISO 28079:2009) auswirkt.

5.3.8 Mechanismus des Kornwachstums und der Hemmung von Hartmetallkörnern

Auflösung und Wiederausfällung

: WC löst sich in flüssigem Co (Löslichkeit 5 % ± 0,5 %, experimentelle Daten) und große Partikel haben eine niedrige Oberflächenenergie ($< 1 \text{ J/m}^2 \pm 0,1 \text{ J/m}^2$, Journal of Materials Science, Vol. 45,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2010) und ein bevorzugtes Wachstum, wobei die Korngröße um $0,01 \mu\text{m} / \text{min} \pm 0,001 \mu\text{m} / \text{min}$ zunimmt (Acta Materialia , Vol. 58, 2010).

Grenzflächendiffusion

Die WC/Co-Grenzfläche (Dicke $< 5 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009) steuert die atomare Migration (Diffusionskoeffizient $\sim 10^{-10} \text{ cm}^2 / \text{s} \pm 10^{-11} \text{ cm}^2 / \text{s}$, Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010) und beeinflusst die Wachstumsrate.

5.3.9 Methoden zur Kornwachstums- und -unterdrückung bei Hartmetall

Der Zusatz

VC ($0,3\text{--}0,5 \% \pm 0,01 \%$, Journal of Materials Science, Bd. 45, 2010) löst sich in der Co-Phase (Löslichkeit $\sim 5 \% \pm 0,5 \%$, experimentelle Daten), wodurch die Grenzflächenenergie ($< 0,5 \text{ J/m}^2$) reduziert wird ($\pm 0,1 \text{ J/m}^2$, Journal of the American Ceramic Society, Bd. 92, 2009), die Wachstumsrate sank auf $< 0,005 \mu\text{m} / \text{min} \pm 0,001 \mu\text{m} / \text{min}$ (Acta Materialia , Bd. 58, 2010); Cr_3C_2 ($0,5 \% \pm 0,01 \%$) scheidet sich an der Grenzfläche ab (Dicke $< 3 \text{ nm} \pm 1 \text{ nm}$, Journal of Materials Science, Bd. 45, 2010) und behindert die Diffusion (Koeffizient $< 10^{-11} \text{ cm}^2 / \text{s} \pm 10^{-12} \text{ cm}^2 / \text{s}$, Journal of the American Ceramic Society, Bd. 92, 2009).

Durch Niedertemperatursintern

bei $1350\text{--}1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$ wird die WC-Auflösung reduziert ($< 3 \% \pm 0,5 \%$, experimentelle Daten) und die Korngröße bleibt $< 0,3 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ (GB/T 19077.1-2008).

Eine kurzzeitige Hitzekonservierung von

$1 \text{ Stunde} \pm 0,1 \text{ Stunde}$ kontrolliert das Wachstum ($< 0,5 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, „ASTM B657-16“); $> 4 \text{ Stunden} \pm 0,1 \text{ Stunden}$ erhöht die Korngröße auf $> 1 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$ („Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010“).

5.3.10 Praktische Beispiele für Kornwachstum und Hemmung bei Hartmetall

$\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008) enthält $0,5 \% \pm 0,01 \%$ VC, gesintert bei $1400 \text{ }^\circ\text{C} \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $1 \text{ Stunde} \pm 0,1 \text{ Stunde}$, hat eine Härte von $\text{HV } 2400 \pm 30$ (ISO 3738-1:1982) und wird für PCB-Bohrer verwendet (Lochdurchmesser $< 0,1 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, 2009), mit einer Lebensdauer von $> 10^5$ Löchern $\pm 10^4$ Löchern.

5.3.11 Faktoren, die das Wachstum und die Hemmung von Hartmetallkörnern beeinflussen und optimieren

die Additivmenge an

VC beträgt $0,3\text{--}0,5 \% \pm 0,01 \%$ (Journal of Materials Science, Bd. 45, 2010); $> 0,8 \% \pm 0,01 \%$ erzeugt V_6C_5 (Härte $\text{HV} < 1500 \pm 50$, Acta Materialia , Bd. 58, 2010) und die Zähigkeit verringert sich um $10 \% \pm 2 \%$ (ISO 28079:2009).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Sintertemperatur von 1400 °

$C \pm 10 \text{ °C}$ steuert die Korngröße ($<0,3 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,01 \text{ }\mu\text{m}$, GB/T 19077.1-2008); $>1500 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$ erhöht die Korngröße ($>1 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,01 \text{ }\mu\text{m}$, ASTM B657-16).

Eine Haltezeit von

1 Stunde $\pm 0,1$ Stunde kontrolliert das Wachstum; eine Haltezeit von > 4 Stunden $\pm 0,1$ Stunde erhöht die Korngröße.

5.3.12 Optimierungsstrategie für Kornwachstum und Kornunterdrückung bei Hartmetall

Die gewählten Bedingungen waren $1400 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$, 1 Stunde $\pm 0,1$ Stunde und $0,3 \text{ \%} - 0,5 \text{ \%} \pm 0,01 \text{ \% VC}$ (Journal of Materials Science, Vol. 45, 2010).

5.3.13 Hartmetall-Kornwachstum und -Unterdrückung – Anwendungspraxis

PCB-Bohrer

SPS ($1300\text{°C} \pm 10\text{°C}$, $50 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, Journal of the American Ceramic Society, Vol. 92, 2009), Härte HV 2400 ± 30 , ISO 3738-1:1982), Bohren $>10^5$ Löcher $\pm 10^4$ Löcher, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, 2009), Genauigkeit $<0,01 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$.

5.4 Hartmetall - Nachbearbeitungstechnologie

Die Nachbearbeitungstechnologie für Hartmetall verbessert die Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit und Lebensdauer durch Optimierung der Oberflächenqualität und Beseitigung von Eigenspannungen.

5.4.1 Technische Parameter und Prinzipien des Oberflächenschleifens und -polierens von Hartmetall

Das Oberflächenschleifen und Polieren von Hartmetall entfernt Oberflächendefekte durch mechanische Einwirkung, verringert die Rauheit ($R_a < 0,05 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,01 \text{ }\mu\text{m}$, GB /T 1031-2009, Schleifen ist der Prozess des Entfernens von Oberflächendefekten von Materialien durch Schleifmittel und Polieren ist eine weitere Endbearbeitung zur Verbesserung der Oberflächenbeschaffenheit), verbessert die Verschleißfestigkeit (Verschleißverlust $<0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$) und Korrosionsbeständigkeit.

5.4.2 Mechanismus des Schleifens und Polierens von Hartmetalloberflächen

Durch Schleifen und Polieren werden Mikrorisse und Eigenspannungen an der Oberfläche entfernt, die Oberflächengüte verbessert ($R_a < 0,05 \text{ }\mu\text{m} \pm 0,01 \text{ }\mu\text{m}$, GB / T 1031-2009) und die Verschleißfestigkeit erhöht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.4.3 Praktische Beispiele zum Schleifen und Polieren von Hartmetalloberflächen

poliertes Hartmetall ($R_a < 0,05 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$) verwendet, mit einem Verschleiß von $< 0,05 \text{ mm} \pm 0,01 \text{ mm}$, „ASTM G65-04“, und einer Lebensdauer von $> 20 \text{ Stunden} \pm 1 \text{ Stunde}$.

5.4.4 Einflussfaktoren und Optimierungsstrategien für das Schleifen und Polieren von Hartmetalloberflächen

Schleifkorngröße

50–100 $\mu\text{m} \pm 1 \mu\text{m}$ (Schleifen) zum Entfernen von Defekten; $< 5 \mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ (Polieren) zum Sicherstellen der Rauheit.

Bei einer Drehzahl

von 2000 U/min ± 10 U/min wird ein Gleichgewicht zwischen Effizienz und Qualität hergestellt; > 4000 U/min ± 10 U/min führen zu thermischen Schäden.

Ein Druck

von 0,3–0,5 MPa $\pm 0,01$ MPa gewährleistet ein gleichmäßiges Schleifen; > 1 MPa $\pm 0,01$ MPa erhöht die Oberflächenbeschädigung.

5.4.5 Optimierungsstrategie für das Schleifen und Polieren von Hartmetalloberflächen

Verwenden Sie 3–5 $\mu\text{m} \pm 0,1 \mu\text{m}$ Diamantpaste, 0,3 MPa $\pm 0,01$ MPa Druck und 2000 U/min ± 10 U/min Rotationsgeschwindigkeit.

5.4.6 Technische Anwendungspraxis des Oberflächenschleifens und -polierens von Hartmetall

von Luftfahrtwerkzeugen

($R_a < 0,05 \mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, GB/T 1031-2009), Verarbeitung von Hochtemperaturlegierungen (1000 °C ± 10 °C, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 50, 2010), Lebensdauer > 20 Stunden ± 1 Stunde.

5.4.7 Technische Parameter und Prinzipien der Wärmebehandlung von Hartmetall

Die Wärmebehandlung von Hartmetall wird bei 500–800 °C ± 10 °C mit einer Haltezeit von 2–4 Stunden $\pm 0,1$ Stunden durchgeführt (bei der Wärmebehandlung handelt es sich um einen Prozess zum Lösen innerer Spannungen oder zum Anpassen der Mikrostruktur durch Kontrolle von Temperatur und Zeit), zum Entfernen von Restspannungen ($< 20 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, „ASTM E837-13“) und zum Verbessern von Zähigkeit und Dauerfestigkeit.

5.4.8 Wärmebehandlungsmechanismus von Hartmetall

Durch Niedertemperaturglühen können innere Spannungen ($< 20 \text{ MPa} \pm 5 \text{ MPa}$, ASTM E837-13) abgebaut, die Mikrostruktur optimiert und die Zähigkeit erhöht werden ($K_{1c} > 15 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

ISO 28079:2009).

5.4.9 Aktuelle Fälle der Wärmebehandlung von Hartmetall

$\mu\text{m} \pm 0,01 \mu\text{m}$, $\text{Co } 10\% \pm 1\%$, wärmebehandelt bei $600\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, $3\text{ h} \pm 0,1\text{ h}$, für Bergbaubohrer, Lebensdauer $>1800\text{ m} \pm 100\text{ m}$.

5.4.10 Einflussfaktoren auf die Wärmebehandlung von Hartmetall und Optimierungsstrategien

Bei einer Wärmebehandlungstemperatur

von $600\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ werden Spannungen wirksam abgebaut; bei $>900\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ erfolgt eine Co-Phasenumwandlung.

Eine Isolationszeit

von 3 Stunden $\pm 0,1$ Stunden sorgt für ein Gleichgewicht zwischen Spannungsabbau und Effizienz; > 6 Stunden $\pm 0,1$ Stunden erhöhen die Kosten.

Atmosphäre

N_2 -Atmosphäre ($\text{O}_2 < 10\text{ ppm} \pm 1\text{ ppm}$) verhindert Oxidation; Vakuum ($<10^{-2}\text{ Pa} \pm 10^{-3}\text{ Pa}$) ist für hochpräzise Teile geeignet.

5.4.11 Optimierungsstrategie für die Wärmebehandlung von Hartmetall

Die verwendeten Bedingungen waren $600\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, 3 Stunden $\pm 0,1$ Stunden und N_2 -Atmosphäre ($\text{O}_2 < 10\text{ ppm} \pm 1\text{ ppm}$).

5.4.12 Anwendungspraxis der Wärmebehandlungstechnik mit Hartmetall

Bergbaubohrer,

wärmebehandelt bei $600\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, 3 Stunden $\pm 0,1$ Stunden, Zähigkeit $K_{1c} > 18\text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2} \pm 0,5$, Lebensdauer $> 1800\text{ m} \pm 100\text{ m}$.

Verschleißfeste Formen

werden bei $500\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$, 2 Stunden $\pm 0,1$ Stunden, wärmebehandelt, Festigkeit $> 4200\text{ MPa} \pm 100\text{ MPa}$, Extrusion $> 10^6$ -mal $\pm 10^5$ -mal.

Anhang: Vergleichstabelle der Hartmetall-Pressverfahren

Formverfahren	Verfahrensprinzip	Hauptausrüstung	Prozessparameter	Vorteil	Mangel	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
Uniaxiales Matrizenpressen	Das Hartmetallpulver (WC, Co usw.) wird durch Druckausübung	Hydraulisch oder mechanische	Druck: $50200\text{ MPa} \pm 10\text{ MPa}$, Presszeit: $530\text{ s} \pm 1\text{ s}$, Pulverpartikelgröße: 50200	Die Anlage ist einfach und leicht	Ungleichmäßige und gezielte Dichteverteilung	Herstellung von einfachen geformten	Das am häufigsten verwendete

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

Formverfahren	Verfahrensprinzip	Hauptausrüstung	Prozessparameter	Vorteil	Mangel	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
	in einer einzigen axialen Richtung durch die Matrize zu einem Rohling gepresst, und das Pulver wird durch die vertikale Kraft im Matrizenhohlraum komprimiert und geformt.	Presse, Stahlform, automatisch es Zuführsystem; Formgenauigkeit $\pm 0,02$ mm.	$\mu m \pm 10 \mu m$, Grünkörperdichte: 50% 70% theoretische Dichte $\pm 2\%$	bedienen; die Produktionseffizienz ist hoch und für die Massenproduktion geeignet; die Formkosten sind niedrig und die Wartung bequem	ng, geringe Mittendichte ($\pm 5\%$); komplexe Formen sind begrenzt und erfordern eine Nachbearbeitung; die Festigkeit der Knüppel ist gering und anfällig für Risse	Wendeschneidplatten (z. B. Drehwendeplatten), Stäben, Scheiben usw. mit Abmessungen $< 100 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$. Die Knüppel ist für	Verfahren zur Hartmetallformung, geeignet für kleine und mittelgroße Knüppel. Die Form muss den Entformungswinkel ($1^{\circ} 2' \pm 0,5^{\circ}$) berücksichtigen.
Bidirektionales Matrizenpressen	Der obere und der untere Stempel üben gleichzeitig Druck aus und das Pulver wird in der Matrize in beide Richtungen komprimiert, wodurch die Gleichmäßigkeit der Dichte verbessert und die innere Spannung verringert wird.	Bidirektionale Hydraulikpresse, Präzisionsform, Pulverfüllvorrichtung; Formhärte HRC 6065 ± 1 .	Druck: 100250 MPa ± 10 MPa, Presszeit: 1040 s ± 1 s, Pulverfeuchtigkeitsgehalt: $< 1\% \pm 0,2\%$, Knüppeldichte: 60% 75% theoretische Dichte $\pm 2\%$	Gleichmäßiger Dichte ($\pm 2\%$), stabile Leistung; geeignet für höhere Knüppel, weniger Risse; geeignet für mittlere und komplexe Formen	Die Ausrüstung ist komplexer und die Kosten sind hoch; die Form verschleißt schnell und die Wartung ist häufig; die Produktionseffizienz ist etwas niedriger als die von	Herstellung komplexer Werkzeuge (z. B. Bohrer, Reibahlen), große Formrohlinge mit Abmessungen $< 500 \text{ mm} \pm 2$	Geeignet für Produkte mit hohen Anforderungen an die Dichtegleichmäßigkeit, der obere und untere Druck müssen synchron geregelt werden (Fehler $< 5 \text{ MPa}$).
Kaltisostatisches Pressen (CIP)	Das Pulver wird in eine elastische Form (z. B. einen Gummibeutel) gefüllt und unter allseitigem, gleichmäßigem Druck in einem flüssigen Medium (z. B. Wasser oder Öl) zu einem Rohling gepresst.	Kaltisostatische Presse, elastische Matrize, Hochdruckpumpe; Druckgenauigkeit ± 5 MPa.	Druck: 100–300 MPa ± 10 MPa, Haltezeit: 15 min ± 10 s, Pulverfließfähigkeit: gut (Schüttwinkel $< 30^{\circ} \pm 2^{\circ}$), Barrendichte: 70% – 85% der theoretischen Dichte $\pm 1\%$	Sehr gleichmäßige Dichte ($\pm 1\%$), keine inneren Spannungen; geeignet für komplexe Formen und große Knüppel; hohe	Teure Ausrüstung, große Investition; langer Produktionszyklus, geringe Effizienz; kurze Lebensdauer	Herstellung komplexer Werkzeuge (z. B. Bohrer, Reibahlen), große Formrohlinge mit Abmessungen $< 500 \text{ mm} \pm 2$	Wird häufig in Hochleistungs-Produkten verwendet, bei denen die Gleichmäßigkeit der Pulverfüllung kontrolliert werden muss (Fehler $< 2\%$).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Formverfahren	Verfahrensprinzip	Hauptausrüstung	Prozessparameter	Vorteil	Mangel	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
				Knüppelfestigkeit und geringe Bearbeitungszeit	Form, muss häufig ausgetauscht werden	mm.	
Spritzguss (PIM)	Das Hartmetallpulver wird mit einem Bindemittel (Paraffin, Polymer) vermischt, zum Formen in eine Metallform gespritzt und nach dem Entfetten wird der Rohling erhalten.	Spritzgussmaschine, Metallform, Entfettungsofen; Formgenauigkeit $\pm 0,01$ mm.	Einspritzdruck: 50150 MPa ± 5 MPa, Einspritztemperatur: 150200°C ± 5 °C, Pulvervolumenanteil: 50% 60% ± 2 %, Rohlingsschrumpfung: 15% 20% ± 1 %	Geeignet für hochpräzise und komplexe Formen; hohe Maßgenauigkeit ($\pm 0,05$ mm); automatisierbar und in Massenproduktion	Der Prozess ist komplex und erfordert Entfetten und das Bindemittel ist teuer und verschmutzt leicht; die Schrumpfung des Rohlings muss genau kontrolliert werden	Herstellung von kleineren Präzisionswerkzeugen (z. B. Mikroklingen), komplexer Formen, Größe < 50 mm $\pm 0,5$ mm.	Geeignet für Produkte mit hoher Wertschöpfung, die Bindemittelformel muss optimiert werden (Viskosität 100–1000 Pa·s ± 10 Pa·s).
Extrusionsformen	Pulver und Bindemittel werden zu einer Paste vermischt, die von einem Extruder durch eine Düse gepresst wird, um kontinuierlich lange Rohlingsstreifen zu bilden.	Extruder, Extrusionsdüse, Vakuummischer; Düsenöffnungsgenauigkeit $\pm 0,05$ mm.	Extrusionsdruck: 20100 MPa ± 5 MPa, Extrusionsgeschwindigkeit: 0,11 m/min $\pm 0,01$ m/min, Bindemittelgehalt: 10% 20% ± 1 %, Barendichte: 50% 65% theoretische Dichte ± 2 %	Geeignet für lange Knüppel (z. B. Stangen); kontinuierliche Produktion, hohe Effizienz; gute Formkonsistenz, weniger Abfall	Beschränkt auf einfache Querschnittsformen; geringe Festigkeit der Knüppel, Trocknung erforderlich; hohe Kosten für die Gerätewartung	Herstellung von Hartmetallstäben, Rohren und Langklingenrohren mit einer Länge von < 1000 mm ± 5 mm.	Bei Vollhartmetallwerkzeugen (wie etwa Schaffräsern) muss die Extrusionsgeschwindigkeit kontrolliert werden, um eine Verformung des Blocks zu vermeiden.
Walzenverdichtung	Das Pulver wird durch ein Paar rotierender Walzen geleitet und unter hohem Druck zu dünnen Platten oder Streifen gepresst, die dann in Form geschnitten werden.	Walzmaschine, Walzenmatrix, Pulverzufuhrvorrichtung; Walzenhärte HRC 6570	Walzendruck: 50150 MPa ± 10 MPa, Walzengeschwindigkeit: 0,55 U/min $\pm 0,1$ U/min, Pulverfeuchtigkeit: < 2 % $\pm 0,2$ %, Platinendicke: 110 mm $\pm 0,1$ mm	Geeignet für dünne Bleche oder Streifen; kontinuierliche Produktion, hohe Effizienz; relativ gleichmäßige	Begrenzte Form, geringe Komplexität; große Ausrüstungsinvestitionen, schneller Walzenverschl	Herstellung von Hartmetallplatten, Verschleißstreifen und Bändern mit einer Dicke von < 10 mm $\pm 0,1$ mm.	Geeignet für Rohlinge verschleißfester Teile (z. B. Dichtungsringe). Die Genauigkeit des Walzspalts muss kontrolliert

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

Formverfahren	Verfahrensprinzip	Hauptausrüstung	Prozessparameter	Vorteil	Mangel	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
		±1.		Dichte des Blocks (±3%)	erhöht; erfordert anschließende Schneid-, zusätzlichen Prozess		werden (±0,05 mm).
Pressen im Trockensack	Trockenbeutelform gefüllt und über das Hydrauliksystem in alle Richtungen mit Druck beaufschlagt. Nach dem Pressen wird es direkt entformt, was den CIP-Prozess vereinfacht.	Isostatische Trockensack presse, Polyurethan-Trockensack s, Hochdruckpumpe; Lebensdauer der Beutelform >1000-mal.	Druck: 150400 MPa ±10 MPa, Haltezeit: 30120 s ±5 s, Pulverpackungsdichte: 23 g/cm ³ ± 0,1 g/cm ³ , Rohdichte: 70%80% theoretische Dichte ±1%	Gleichmäßige Dichte (±1 %), hervorragende Leistung; Produktionseffizienz ist höher als CIP; geeignet für mittelgroße Knüppel	Die Ausrüstung ist komplex und die Kosten sind hoch; die Formanforderungen sind hoch; es ist nicht für übergroße Rohlinge geeignet	Herstellung und mittelgroßer Wendeschneidplatten (z. B. Stechplatten), Matrizenrohlingen mit Abmessungen <200 mm ±1 mm.	Es kombiniert die Vorteile von CIP und Formgebungseffizienz, eignet sich für die halbautomatische Produktion und erfordert eine regelmäßige Druckkalibrierung (Fehler <5 MPa).

Vergleichstabelle der Hartmetall-Sinterverfahren

Sinterverfahren	Verfahrensprinzip	Hauptausrüstung	Prozessparameter	Vorteil	Mangel	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
Vakuumsintern	Durch Erhitzen des Hartmetallrohlings (WC, Co) in einer Vakuumumgebung können sich die Pulverpartikel verbinden, Poren werden entfernt und ein Material mit hoher	Vakuumsinterofen, Widerstands- oder Induktionsheizung, Vakuumpumpe (Vakuumgrad <10 ⁻² Pa); Ofengenaugigkeit ±0,1 mm.	Temperatur: 1350–1500 °C ± 10 °C, Porosität: 10 %, Haltezeit: 14 h ± 5 min, Vakuumgrad: 0,010,1 Pa ± 0,01 Pa, Barrendichte: 98 %–99,5 % theoretische Dichte ±	Hohe Dichte, geringe Porosität (<0,5 %); keine Oxidation, stabile Leistung; geeignet für eine Vielzahl von Formen und Größen; einfache Prozesssteuerung	Hohe Gerätekosten und komplexe Wartung; langer Produktionszyklus und geringe Effizienz; hohe Anforderungen an die Gleichmäßigkeit der Erwärmung großer Knüppel	Herstellung von Wendeschneidplatten (z. B. für Dreheinsätze), Matrizen, Stangen mit Abmessungen <200 mm ±1 mm.	Das am häufigsten verwendete Sinterverfahren für Hartmetall erfordert eine kontrollierte Heizrate (510 °C/min ±1 °C/min), um Rissbildung zu vermeiden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sinterverfahren	Verfahrensprinzip	Hauptausrüstung	Prozessparameter	Vorteil	Mangel	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
	Dichte entsteht. Das Vakuum verhindert Oxidation und die flüssige Co-Phase fördert die Verdichtung.		0,5 %				
Heißisostatisches Pressen (HIP)	Durch Einwirken eines Inertgases (z. B. Argon) bei hoher Temperatur und hohem Druck wird der Rohling in einem omnidirektionalen Druck ausgesetzt, wodurch Poren weiter beseitigt und Dichte und Festigkeit verbessert werden. Dies wird häufig zur Nachbearbeitung verwendet.	HIP-Ofen, Hochdruckpumpe, Inertgassystem; Druckgenauigkeit $\pm 0,1$ MPa, Temperaturgenauigkeit $\pm 5^{\circ}\text{C}$.	Temperatur: 1300–1450 $^{\circ}\text{C} \pm 10$ $^{\circ}\text{C}$, Druck: 100–200 MPa $\pm 0,1$ MPa, Haltezeit: 13 h ± 5 min, Dichte des Blocks: 99,8 %–100 % der theoretischen Dichte $\pm 0,2$ %	Sehr hohe Dichte, nahe dem theoretischen Wert; hervorragende mechanische Eigenschaften (Biegefestigkeit ± 10 %); Beseitigung von Mikroporen, hohe Verschleißfestigkeit; geeignet für Hochleistungsprodukte	Teure Ausrüstung, hohe Betriebskosten; geringe Produktionseffizienz, kleine Chargen; hohe Anforderungen an die Ausgangsqualität der Rohlinge	Herstellung von Hochleistungswerkzeugen (z. B. Fräser, Bohrer), Verschleißteile, Abmessungen < 300 mm ± 2 mm.	Es wird häufig als Nachbehandlung beim Vakuumsintern verwendet, um die Leistung zu verbessern, und die Gasreinheit muss gewährleistet sein ($> 99,99$ %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sinterverfahren	Verfahrensprinzip	Hauptausrüstung	Prozessparameter	Vorteil	Mangel	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
Mikrowellensintern	Der Rohling wird direkt durch Mikrowellen erhitzt, und die Pulverpartikel absorbieren Mikrowellenenergie und erwärmen sich schnell, was die Verdichtung in der Flüssigphase fördert; die Erwärmung ist gleichmäßig und die Zeit ist kurz.	Mikrowellen-Sinterofen, Mikrowellengenerator (2,45 GHz), Wärmedämmmaterial; Temperaturregelgenauigkeit $\pm 10^{\circ}\text{C}$.	Temperatur: 1300–1450 $^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, Heizzeit: 1060 min ± 1 min, Leistung: 110 kW $\pm 0,1$ kW, Knüppeldichte: 97 %–99 % theoretische Dichte $\pm 0,5$ %	Schnelle Heizgeschwindigkeit Komplexe Ausrüstung, hohe Investition; begrenzte Größe (< 100 mm); hohe Anforderungen an feine Körnung (0,52 μm), hervorragende Leistung; reduzierter Energieverbrauch	Komplexe Ausrüstung, hohe Investition; begrenzte Größe (< 100 mm); hohe Anforderungen an die Pulvergleichmäßigkeit; geringer Industrialisierungsgrad	Herstellung von kleinen Wendeschneidplatten (zB Stechplatten), Präzisionsformen, Abmessungen < 100 mm ± 1 mm.	Neue Technologien, die für kleine Chargen hochpräziser Produkte geeignet sind, erfordern eine Optimierung der Abmessungen der mikrowellenabsorbierenden Materialien.
Funkenplasmaasintern (SPS)	Der Rohling wird durch gepulsten Strom und Druck schnell erhitzt. Der Strom induziert lokale Entladungen, die die Partikelbindung und Verdichtung	SPS-Ofen, Impulsstromversorgung, Form (Graphit oder WC); Stromgenauigkeit ± 10 A, Druckgenauigkeit $\pm 0,1$ MPa.	Temperatur: 1200–1400 $^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, (Minuten); Druck: 30–100 MPa $\pm 0,1$ MPa, Sinterzeit: 520 min ± 30 s, Treibhausdichte: 98–99,5 % Theoretische Dichte \pm	Kurze Sinterzeit weniger Kornwachstum (0,51 μm); hohe Dichte, hervorragende Leistung; geeignet für kleine Größen und komplexe Formen	Teure Ausrüstung, kurze Lebensdauer der Form; begrenzte Größe (< 50 mm); geringe Massenproduktionsfähigkeit; komplexe Technologie	Herstellung von Mikrowerkzeugen (z. B. Mikroborenen), hochpräzisen Formen mit Abmessungen < 50 mm $\pm 0,5$ mm.	Geeignet für Labore oder High-End-Produkte, die kontrollierte Stromimpulse (50100 ms ± 10 ms) erfordern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sinterverfahren	Verfahrensprinzip	Hauptausrüstung	Prozessparameter	Vorteil	Mangel	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
	fördern. Die Sinterzeit ist extrem kurz.		0,5 %				
Gasschutzsintern	ein Inertgas (wie N ₂ , Ar) oder ein reduzierendes Gas (wie H ₂), um das Sintern in der Flüssigphase zu fördern und eine Oxidation zu vermeiden; der Gasstrom steuert die Atmosphäre.	Atmosphären-Sinterofen, Gasversorgungssystem, Heizelemente; Gasreinheit >99,9 % ±0,01 %.	Temperatur: 1350–1480 °C ± 10 °C, Haltezeit: 15 h ± 5 min, Gasdurchflussrate: 110 l/min ± 0,1 l/min, Barrendichte: >99,9 % ±0,01 %, theoretische Dichte ± 0,5 %	Die Kosten sind niedriger als beim Vakuumsintern; geeignet für große Knüppel; die Atmosphäre ist einstellbar und hochflexibel; die Ausrüstung ist leicht zu warten	Etwas geringere Dichte (1 %); hohe Anforderungen an die Gasreinheit; schwer kontrollierbare Porosität; etwas schlechtere Leistung als beim Vakuumsintern	Herstellung von Großstangen, Matrizen, Verschleißteilen mit Abmessungen <500 mm ±2 mm.	Herkömmliche Methoden eignen sich für kostensensible Szenarien und erfordern eine Überwachung des Gasflusses, um eine Kontamination zu verhindern.
Niederdrucksintern	Ein Inertgas mit niedrigem Druck (wie Argon) fördert in Kombination mit Vakuum und leichtem Druck (<10 MPa) das Sintern in der Flüssigphase und verbessert so	Niederdruck-Vakuumpumpe, Gaskontrollsystem; Druckgenauigkeit ±0,05 MPa.	Temperatur: 1350–1450 °C ± 10 °C, Druck: 110 MPa ± 0,05 MPa, Haltezeit: 13 h ± 5 min, Dichte des Blocks: 98,5 %–99,5 % Theoretische Dichte ±	Hohe Dichte, geringe Porosität (<0,3 %); Gerätekosten sind niedriger als bei HIP; Leistung kommt der von HIP nahe; Geeignet für mittlere und große Knüppel	Langer Produktionszyklus; komplexe Druckregelung; hohe Anforderungen an die Ausgangsdichte der Rohlinge; hoher Energieverbrauch	Herstellung von Wendeschneidplatten (zB Fräseinsätze), Matrizenrohlingen, Abmessungen <250 mm ±1 mm.	Es ist ein Gleichgewicht zwischen Kosten und Leistung beim Vakuumsintern und HIP und erfordert eine präzise Kontrolle des Druckgradienten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sinterverfahren	Verfahrensprinzip	Hauptausrüstung	Prozessparameter	Vorteil	Mangel	Anwendbare Szenarien	veranschaulichen
	Dichte und Eigenschaften.		0,3 %				

Verweise

German, RM (2014). Sintern von Hartmetallen. In VK Sarin (Hrsg.), *Comprehensive hard materials* (Band 1, S. 191-10). Elsevier .

Konjaschin , I. , & Klyachko , L. (2018) . Moderne Trends beim Sintern von Hartmetall. *Internationale Zeitschrift für Refraktärmetalle und Hartstoffe* , 74 , 6571 .

Schubert, WD, & Lassner, E. (2019). Wolframcarbidverarbeitung: Vom Pulver zum Sinterprodukt. *Pulvermetallurgie* , 62 (3), 145153 .

Sakaguchi, S., & Kimura, Y. (2020). Funkenplasmasintern von WCCo -Hartmetallen mit feiner Korngröße . *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy* , 67(5), 231238. Sakaguchi , S., & Kimura, Y. (2020). Funkenplasmasintern von WCCo- Hartmetallen mit feiner Korngröße. *Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy* , 67(5) , 231238 .

Garcia, J., & Ciprés , VC (2021). Fortschritte beim heißisostatischen Pressen von Hartmetallen. *CIRP Annals* , 70(1), 231234.

Garcia, J., & Ciprés , VC (2021). Fortschritte beim heißisostatischen Pressen von Hartmetallen. *CIRP Annals* , 70(1), 231234.

Rajput, SK, & Kumar, S. (2022). Mikrowellensintern von Hartmetallen: Prozessoptimierung und Eigenschaften. *Materials Today : Proceedings* , 56, 1234–1240.

Lengauer, W., & Danninger , H. (2023). Flüssigphasen -Sintermechanismen in Hartmetallen. *Metallurgical and Materials Transactions A* , 54(2), 567578. Lengauer, W., & Danninger , H. (2023). Flüssigphasen - Sintermechanismen in Hartmetallen. *Metallurgical and Materials Transactions A* , 54(2), 567578. <https://doi.org/10.1007/s11661022069453>

Schröter, M. & Böhm, A. (2022). Oberflächenbearbeitung von Hartmetallen : Schleifen und Polieren . *Werkstofftechnik* , 48(3), 8997.

Schröter , M., & Böhm , A. (2022). Oberflächenbearbeitung von Hartmetallen: Schleifen und Polieren. *Werkstofftechnik* , 48(3) , 8997 .

Wang, X., & Li, J. (2020). Kaltisostatisches Pressen von Hartmetallen: Auswirkungen auf Gründichte und Gleichmäßigkeit. *Powder Technology* , 364, 456463 .

Liu, H., & Zhang, Y. (2021). Fortschritte in der Presstechnologie für Hartmetalle. *China Tungsten Industry* , 36(4), 4552 .

Chen, Z., & Wang, T. (2022). Optimierung des Vakuumsinterprozesses für Hartmetalle. *Zeitschrift für Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* , 40(5), 678685 .

Miyake, T., & Nakahara, S. (2021). Mikrostrukturkontrolle beim Mikrowellensintern von Hartmetallen. *Zeitschrift des Japanischen Instituts für Metalle und Materialien* , 85(6), 201208 .

Borgh, I., & Hedström, P. (2023). Kornwachstumshemmung in Hartmetallen beim Flüssigphasensintern . *Acta Materialia* , 245, 118612.

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

- Borg, I., & Hedstrom, P. (2023). Kornwachstumshemmung beim Flüssigphasensintern von Hartmetall. *Acta Materialia Sinica*, 245, 118612.
- Zhang, Q., & Li, X. (2022). Auswirkungen der Parameter des heißisostatischen Pressens auf die Eigenschaften von Hartmetallen. *Powder Metallurgy Technology*, 40(3), 234241.
- Zhang, Q., & Li, X. (2022). Auswirkungen der Parameter des heißisostatischen Pressens auf die Eigenschaften von Hartmetallen. *Powder Metallurgy Technology*, 40(3), 234241.
- Rödel, J., & Franke, R. (2021). Verarbeitung von Hartmetallen: Wärmebehandlung und Spannungsrelaxation. *Werkstoffwissenschaft und -technik*, 52(4), 345353.
- Sun, Y., & Zhao, J. (2023). Oberflächenpoliertechniken für Hartmetalle: Auswirkungen auf die Verschleißfestigkeit. *Ceramics International*, 49(8), 1234512353.
- Sun, Y., & Zhao, J. (2023). Oberflächenpoliertechnologie von Hartmetall: Einfluss auf die Verschleißfestigkeit. *International Ceramics*, 49(8), 1234512353.
- Li, M., & Wang, H. (2020). Studie zum Formenbau und zur Gleichmäßigkeit von Grünlingen für Hartmetalle. *China Mechanical Engineering*, 31(6), 789796.
- Li, M., & Wang, H. (2020). Studie zum Formenbau und zur Gleichmäßigkeit von Grünlingen für Hartmetalle. *China Mechanical Engineering*, 31(6), 789796.
- Kato, M., & Fujii, H. (2022). Energieeffizienz beim Funkenplasmasintern von Hartmetallen. *Zeitschrift der Society of Powder Technology*, Japan, 59(7), 321329.
- Wu, J., & Chen, H. (2024). Intelligente Steuerung des kaltisostatischen Pressens von Hartmetallen. *Zeitschrift für Fertigungsprozesse*, 112, 456465.
- Zhou, P., & Liu, Y. (2021). Untersuchung der Kinetik des Flüssigphasensinterns von Hartmetallen. *Materialberichte*, 35(9), 15671574.
- Kim, JH, & Lee, SK (2023). Laserpolieren von Hartmetallen für eine verbesserte Oberflächengüte. *Oberflächen- und Beschichtungstechnologie*, 452, 129123.
- Jin Zhihao, & Li Shangji. (2023). Laserpolieren von Hartmetall zur Verbesserung der Oberflächengüte. *Oberflächen- und Beschichtungstechnologie*, 452, 129123.
- Yang, L., & Zhang, Z. (2022). Fortschritte in der Nachbearbeitung von Hartmetallen. *Werkstoffe China*, 41(5), 345352.
- Buhl, K., & Leinenbach, C. (2020). Einfluss von Umformprozessen auf die Eigenschaften von Hartmetallen. *Metall*, 74(8), 567574.
- Xu, W., & Liu, X. (2023). Niedertemperatursintern von Hartmetallen: Herausforderungen und Chancen. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 115, 106321.
- Tanaka, H., & Saito, T. (2023). Fortschritte in der Oberflächenbehandlung von Hartmetallen. *Materials Science Japan*, 60(4), 178185. Tanaka, H., & Saito, T. (2023). Fortschritte in der Oberflächenbehandlung von Hartmetallen. *Materials Science Japan*, 60(4), 178185.

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:

Welche Arten von Hartmetallpressen gibt es ?

Welche Geräte eignen sich für das Industrial Internet of Things (IIoT) und Smart Manufacturing?

zu den Arten von Hartmetallpressen, den fortschrittlichsten typischen Vertretern und ihrer Relevanz für das industrielle Internet der Dinge (IIoT) und intelligente Fertigung. Der Inhalt basiert auf den technischen Merkmalen des Hartmetallpressprozesses, Details des Gerätedesigns, Betriebsparametern, Leistungsindikatoren, Anwendungsfällen, Wartungsanforderungen und dem Integrationspotenzial mit IIoT und intelligenter Fertigung, kombiniert mit den neuesten Branchendaten, F&E-Trends und Marktdynamiken und ist bestrebt, umfassend, detailliert und praxisnah zu sein.

1. Arten von Hartmetallpressen

Die Hartmetallpresse ist das Kerngerät der Pulvermetallurgie zur Herstellung von Hartmetallrohlingen (z. B. WC-Co, WC- TiC -Co usw.). Die Presstypen unterscheiden sich je nach Pressverfahren, Druckform, Prozesskomplexität, Automatisierungsgrad und Anwendungsszenarien. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Beschreibung der 13 wichtigsten Pressentypen mit technischen Grundlagen, mechanischen Strukturen, Schlüsselkomponenten, Betriebsparametern, Leistungsindikatoren, Wartungsanforderungen und typischen Anwendungen. Die Namen sind in Klammern und in englischer Übersetzung angegeben.

1.1. Einseitige Presse

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technisches Prinzip

Der Druck (100–300 MPa) wird durch einen einzelnen vertikalen Druckkopf ausgeübt, und die Pulverpartikel werden durch die Formbegrenzung komprimiert und verdichtet. Es eignet sich für Grünkörper mit einfachen geometrischen Formen. Die Presskraft wird hauptsächlich entlang einer Achse übertragen, und die Dichteverteilung wird durch die Schwerkraft beeinflusst.

Mechanischer Aufbau

Rahmen: Einachsiger Stahlrahmen, Tragfähigkeit >500 kN .

Eindringkörper: Stahl mit hoher Härte (Cr12MoV, HRC 58-60), oberflächengehärtet.

Form : Fest, Innenwand auf Ra < 0,2 µm poliert , Druckfestigkeit 300–400 MPa, Lebensdauer 500–1000 Mal.

Antriebssystem: Hydraulikzylinder oder mechanische Nocke, Leistung 5–10 kW.

Schlüsselkomponenten

Drucksensor: Genauigkeit ±5 MPa, überwacht die Presskraft.

Wegsensor: Genauigkeit ±0,1 mm, steuert den Hub des Druckkopfes.

Betriebsparameter

Pressdruck: 200 MPa (typischer Wert).

Presszeit: 5-10 Sekunden.

Formtemperatur: 20–40 °C (Betrieb bei normaler Temperatur).

Leistungsaufnahme: 5-10 kW.

Leistungsindikatoren

Dichte des Grünblocks: 50 % – 65 % der theoretischen Dichte (ca. 6,5 – 8,0 g/cm³) .

Härte nach dem Sintern: HRA 88-90.

Porosität: A02-B02 (gemäß ISO 4505-Norm).

Wartungsanforderungen

Überprüfen Sie den Formverschleiß jeden Monat (wenn die Dicke um > 0,1 mm abnimmt, muss sie ausgetauscht werden).

Reinigen Sie den Presskopf alle 500 Pressvorgänge, um ein Anhaften des Pulvers zu verhindern.

Typische Anwendungen

Teile mit einfacher Geometrie, wie z. B. WC-8 %Co-Schneideinsätze (10 × 10 × 5 mm), mit einer Produktionseffizienz von 200 Stück/Stunde.

Einschränkungen : Großer Dichtegradient (>10 %), nicht geeignet für komplexe oder große Teile.

1.2. Doppelrichtungspresse

Technisches Prinzip

Es verwendet Auf- und Ab- oder Auf- und Ab- + Seiten-Doppeldruckköpfe (200–400 MPa), um

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

den Dichtegradienten durch bidirektionalen Kraftausgleich zu reduzieren, was für Rohlinge mit mittlerer bis komplexer Form geeignet ist.

Mechanischer Aufbau

Rahmen: Zweiachsige Stahlkonstruktion, Tragfähigkeit >1000 kN .

Eindringkörper: 2–3 Stück (Hartmetall oder HRC 60-Stahl), Oberfläche mit TiN beschichtet .

Form : beweglich, Innenwand Ra <0,1 μ m , Druckfestigkeit 500 MPa, Lebensdauer 1000–2000 Mal.

Antriebssystem: Doppelte Hydraulikzylinder, Leistung 10–20 kW.

Schlüsselkomponenten :

Synchrones Steuerungssystem: Stellen Sie sicher, dass die Druckhöhenabweichung weniger als 0,1 mm beträgt.

Drucksensor: Genauigkeit ±2 MPa.

Betriebsparameter :

Pressdruck: 300 MPa.

Presszeit: 10-20 Sekunden.

Formtemperatur : 20–50 °C.

Leistungsaufnahme: 10-20 kW.

Leistungsindikatoren :

Dichte des Grünblocks: 60 % – 75 % der theoretischen Dichte (ca. 7,8 – 9,5 g/cm³) .

Härte nach dem Sintern: HRA 89-91.

Porosität: A02 (Gleichmäßigkeit ist besser als unidirektionales Pressen).

Wartungsanforderungen :

Überprüfen Sie alle 1000 Mal die Synchronisierung des Eindringkörpers und stellen Sie die Abweichung auf <0,05 mm ein.

Wechseln Sie das Hydrauliköl vierteljährlich, um eine Verunreinigung des Systems zu verhindern.

Typische Anwendungen : mittelkomplexe Formen, wie z. B. WC-10 % Co-Fräserrohlinge (20 mm Durchmesser), Produktionseffizienz 150 Stück/Stunde.

Einschränkungen : Für hochkomplexe Formen immer noch nicht geeignet, die Gerätwartungskosten sind etwas höher.

1.3. Kaltisostatische Presse (CIP)

Technisches Prinzip

Der Pulverbeutel wird durch ein flüssiges Hochdruckmedium (z. B. Öl oder Wasser, 200–400 MPa) unter omnidirektionalem Druck komprimiert und der Druck wird gleichmäßig übertragen, was sich besonders für komplexe dreidimensionale Formen eignet.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mechanischer Aufbau

Hochdruckbehälter: Edelstahl oder Titanlegierung, Druckfestigkeit >500 MPa, Innendurchmesser 300-1000 mm.

Flüssigkeitszirkulationssystem: Ölpumpe oder Wasserpumpe, Durchflussrate 100–500 l/min.

Form : Flexibler Gummibeutel (Shore A 70±5), Druckfestigkeit 300 MPa.

Antriebssystem: Hochdruckpumpe, Leistung 50–100 kW.

Schlüsselkomponenten

Drucksensor: Genauigkeit ±5 MPa, Mehrpunktverteilung.

Temperaturregelung: 20–50 °C, Genauigkeit ± 2 °C.

Betriebsparameter

Pressdruck: 300 MPa.

Presszeit: 3-10 Minuten.

Betriebstemperatur: 20–50 °C.

Leistungsaufnahme: 50-100 kW.

Leistungsindikatoren

Dichte des Grünblocks: 75 % – 85 % der theoretischen Dichte (ca. 9,7 – 10,8 g/cm³).

Härte nach dem Sintern: HRA 90-92.

Porosität: A00-B00.

Wartungsanforderungen

Überprüfen Sie alle 500 Stunden die Behälterdichtung. Der Leckdruck sollte weniger als 0,1 MPa betragen.

Ersetzen Sie das flüssige Medium vierteljährlich, um eine Reinheit von >99 % aufrechtzuerhalten.

Typische Anwendungen

Teile mit komplexer Geometrie, wie etwa WC-12 % Co-Werkzeugrohlinge für die Luft- und Raumfahrt (Durchmesser 50 mm), mit einer Produktionseffizienz von 50 Stück/Charge.

Einschränkungen : Lange Zykluszeit und hohe Gerätekosten (> 1 Million US-Dollar).

1. 4. Heißisostatische Presse (HIP)

Technisches Prinzip

Der Kompaktkörper wird bei hoher Temperatur (1350–1450 °C) und hohem Druck (100–200 MPa) nachbehandelt, um Mikroporen zu beseitigen und die Kornstruktur zu optimieren.

Mechanischer Aufbau

Autoklav: Druckfestigkeit >200 MPa, Innendurchmesser des Hohlraums >200 mm, aus hochfestem Stahl.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Heizsystem: Widerstandsofen oder Induktionsheizung, Leistung >150 kW.

Gassystem: Ar oder N₂, Reinheit >99,99 %, Druckregelung ±1 MPa.

Antriebssystem: Hochdruckpumpe + Heizung, Leistung 150–300 kW.

Schlüsselkomponenten

Temperatursensor: Genauigkeit ±5°C, Mehrpunktverteilung.

Drucksensor: Genauigkeit ±1 MPa.

Betriebsparameter

Pressdruck: 150 MPa.

Betriebstemperatur: 1400 °C.

Warmhaltezeit: 1–4 Stunden.

Leistungsaufnahme: >150 kW.

Leistungsindikatoren

Dichte: >99,8% der theoretischen Dichte (ca. 12,5-13,0 g/cm³).

Härte: HRA 92-94.

Porosität: <0,03 %.

Wartungsanforderungen

Der Wasserkocher muss alle 1000 Stunden gereinigt werden. Die Risse sollten kleiner als 0,1 mm sein.

Ersetzen Sie die Gasfilter vierteljährlich, um die Reinheit aufrechtzuerhalten.

Typische Anwendungen

Hochzuverlässige Teile, wie beispielsweise WC-10 % Co-Bergbaubohrer, haben eine Lebensdauer von >20 Stunden.

Einschränkungen : Extrem teuer (> 5 Millionen US-Dollar), hauptsächlich für die Nachbearbeitung.

1.5. Matrizenpresse

Technisches Prinzip

In Kombination mit Präzisionsformen für unidirektionales oder bidirektionales Pressen (200 MPa) wird durch Formbeschränkungen eine effiziente Chargenproduktion erreicht.

Mechanischer Aufbau

Rahmen: Stahl, Tragfähigkeit >800 kN.

Eindringkörper: Stahl mit hoher Härte (HRC 58), Oberfläche poliert.

Form : austauschbar, Innenwand Ra <0,1 μ m , Druckfestigkeit 400 MPa, Lebensdauer 500-1000 Mal.

Antriebssystem: Hydraulisch, Leistung 5–15 kW.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Schlüsselkomponenten

Vibrationsfüllvorrichtung: 50 Hz, zur Verbesserung der Pulververdichtung.

Drucksensor: Genauigkeit ± 5 MPa.

Betriebsparameter

Pressdruck: 200 MPa.

Presszeit: 5-10 Sekunden.

Leistungsaufnahme: 5-15 kW.

Leistungsindikatoren

Dichte des Grünblocks: 60 % – 70 % der theoretischen Dichte (ca. $7,8 - 9,0 \text{ g/cm}^3$).

Härte nach dem Sintern: HRA 90.

Porosität: A02.

Wartungsanforderungen

Tauschen Sie die Matrize alle 500 Mal aus und prüfen Sie, ob der Verschleiß $>0,1 \text{ mm}$ ist.

Reinigen Sie den Presskopf monatlich, um Pulverrückstände zu vermeiden.

Typische Anwendungen

Standardisierte Schneidklingen, wie beispielsweise WC-8%Co-Klingen ($10 \times 10 \times 5 \text{ mm}$), haben eine Produktionsleistung von 300 Stück/Stunde.

Einschränkungen : begrenzte Form, schneller Formverschleiß.

1.6. Strangpresse

Technisches Prinzip

Die Pulver-Bindemittel-Mischung (PVA 15 %–25 %) wurde mittels einer Schnecke oder eines Kolbens durch eine Düse (300 MPa) extrudiert, um einen durchgehenden, länglichen Körper zu bilden.

Mechanischer Aufbau

Extrusionszylinder: Druckfestigkeit $>500 \text{ MPa}$, Innenwand mit Hartmetallbeschichtung.

Form : Präzisionsdesign, Toleranz $<0,01 \text{ mm}$, Temperaturbeständigkeit $80 \text{ }^\circ\text{C}$.

Antriebssystem: Hydraulik + Schraube, Leistung 20–40 kW.

Schneidsystem: Automatisches Werkzeug, Genauigkeit $\pm 0,1 \text{ mm}$.

Schlüsselkomponenten

Temperaturkontrollmodul: $50-80 \text{ }^\circ\text{C}$, Genauigkeit $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Drucksensor: Genauigkeit $\pm 5 \text{ MPa}$.

Betriebsparameter

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pressdruck: 300 MPa.

Extrusionsgeschwindigkeit: 0,5–2 m/min.

Leistungsaufnahme: 20–40 kW.

Leistungsindikatoren

Dichte des Grünblocks: 55 % – 65 % der theoretischen Dichte (ca. 7,0 – 8,3 g/cm³).

Härte nach dem Sintern: HRA 91.

Porosität: A02.

Wartungsanforderungen

Überprüfen Sie alle 500 Meter den Formverschleiß und ersetzen Sie ihn, wenn die Toleranz >0,02 mm ist.

Reinigen Sie die Schraube monatlich, um Klebstoffrückstände zu vermeiden.

Typische Anwendungen

Hartmetallstäbe, wie z. B. WC-10 % Co-Stäbe (5 mm Durchmesser, 300 mm Länge), mit einer Produktionsrate von 10 m/Stunde.

Einschränkung

Ein Entfettungsprozess ist erforderlich und der Vorgang ist kompliziert.

1.7. Spritzgusspresse

Technisches Prinzip

Das Pulver-Bindemittel-Gemisch (PP/POM 20–30 %) wird erhitzt (150–200 °C), in eine Form gespritzt (80 MPa) und nach dem Abkühlen entformt.

Mechanischer Aufbau

Zylinder: erhitzt auf 150–200 °C, Leistung 10–20 kW.

Form : H13-Stahl oder Hartmetall, Toleranz <0,01 mm, Lebensdauer 5000 Mal.

Antriebssystem: Schneckeneinspritzung, Leistung 20–50 kW.

Kühlsystem: Wasserkreislauf, Temperatur 50–80°C.

Schlüsselkomponenten

Temperatursensor: Genauigkeit ±2°C.

Drucksensor: Genauigkeit ±2 MPa.

Betriebsparameter

Einspritzdruck: 80 MPa.

Einspritztemperatur: 180°C.

Formtemperatur : 60°C.

Leistungsaufnahme: 20–50 kW.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Leistungsindikatoren

Dichte des Grünblocks: 50–60 % der theoretischen Dichte (ca. 6,5–7,6 g/cm³).
Härte nach dem Sintern: HRA 92.
Porosität: A00-B00.

Wartungsanforderungen

Überprüfen Sie die Form alle 1000 Mal auf Verschleiß und ersetzen Sie sie, wenn die Toleranz >0,01 mm ist.
Reinigen Sie das Fass monatlich, um eine Verkohlung des Bindemittels zu verhindern.

Typische Anwendungen

Mikroteile, wie WC-6%Co-Zahnräder (3 mm Durchmesser, 1 mm Dicke), mit einer Produktionseffizienz von 100 Stück/Stunde.

Einschränkung

Es gibt viele Prozesse und die Kosten sind hoch.

1.8. Trockensackpresse

Technisches Prinzip

Durch die Verwendung einer festen Gummiform (Trockensack) wird ein Druck von 300 MPa ausgeübt, ähnlich wie beim isostatischen Pressen, jedoch effizienter.

Mechanischer Aufbau

Hochdruckbehälter: Druckfestigkeit >400 MPa, Innendurchmesser 200-500 mm.
Form : Gummi (Shore A 70±5), Wandstärke 5-10 mm.
Antriebssystem: Hydraulikpumpe, Leistung 30–60 kW.

Schlüsselkomponenten

Drucksensor: Genauigkeit ±5 MPa.
Wegsensor: Genauigkeit ±0,1 mm.

Betriebsparameter

Pressdruck: 300 MPa.
Presszeit: 5-10 Minuten.
Leistungsaufnahme: 30-60 kW.

Leistungsindikatoren

Dichte des Grünblocks: 70–75 % der theoretischen Dichte (ca. 9,0–9,5 g/cm³).
Härte nach dem Sintern: HRA 90.
Porosität: A00-B00.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wartungsanforderungen

Überprüfen Sie die Gummiform alle 500 Mal auf Alterung. Ersetzen Sie sie, wenn die Härteänderung >5 ist.

Reinigen Sie das Innere des Behälters monatlich.

Typische Anwendungen

Mittelgroße Teile, wie beispielsweise WC-8%Co-Lagerhülsen (50 mm Durchmesser), können mit einer Stückzahl von 80 Stück pro Charge hergestellt werden.

L Nachahmung

Begrenzte Form, mittlere Kosten.

1.9. Multidirektionale Presse

Technisches Prinzip

Mehrere Pressköpfe (4-6) üben Druck aus (400 MPa vertikal und 300 MPa seitlich), um eine dreidimensionale Kompression zu erreichen.

Mechanischer Aufbau

Rahmen: Mehrachsige Stahlkonstruktion, Tragfähigkeit >2000 kN .

Eindringkörper: 6 Stück (Hartlegierung, Druckfestigkeit 800 MPa).

Form : Verbundkonstruktion, Innenwand Ra<0,1 μ m .

Antriebssystem: Multihydraulikzylinder, Leistung 15–30 kW.

Schlüsselkomponenten

Synchrones Steuerungssystem: Abweichung <0,5 mm.

Drucksensor: Genauigkeit ±5 MPa.

Betriebsparameter

Pressdruck: 400 MPa.

Presszeit: 10-20 Sekunden.

Leistungsaufnahme: 15-30 kW.

Leistungsindikatoren

Dichte des Grünblocks: 75 % – 80 % der theoretischen Dichte (ca. 9,7 – 10,2 g/cm³) .

Härte nach dem Sintern: HRA 91.

Porosität: A00-B00.

Wartungsanforderungen

Überprüfen Sie den Eindringkörper alle 1000 Mal auf Verschleiß. Ersetzen Sie ihn, wenn die Dicke um mehr als 0,1 mm abnimmt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kalibrieren Sie das Synchronisierungssystem monatlich.

Typische Anwendungen

Komplexe Werkzeugrohlinge, wie beispielsweise WC-8%Co-Mehrkant-Werkzeugrohlinge (Durchmesser 30 mm), haben eine Produktionsleistung von 120 Stück/Stunde.

Einschränkung

Die Ausrüstung ist komplex und die Kosten sind hoch.

1.10. Mehrachsige nicht-isostatische Presse

Technisches Prinzip

Unabhängige Druckerzeugung in vier oder sechs Richtungen (vertikal 500 MPa, seitlich 400 MPa) zur Optimierung der Druckverteilung.

Mechanischer Aufbau

Rahmen: Mehrachsige Servostruktur, Tragfähigkeit >3000 kN .

Eindringkörper: 6 Stück (Hartlegierung, Druckfestigkeit > 800 MPa).

Form : Präzisionsdesign, Toleranz <0,01 mm, Lebensdauer >10.000 Mal.

Antriebssystem: Servohydraulik, Leistung 20–50 kW.

Schlüsselkomponenten

CNC-Steuerungssystem: Genauigkeit <0,01 mm.

Mehrpunktsensor: Druck ± 2 MPa, Verschiebung $\pm 0,01$ mm.

Betriebsparameter

Pressdruck: 500 MPa.

Presszeit: 10-20 Sekunden.

Leistungsaufnahme: 20-50 kW.

Leistungsindikatoren

Dichte des Grünblocks: 85 % – 90 % der theoretischen Dichte (ca. 10,8 – 11,4 g/cm³).

Härte nach dem Sintern: HRA 92.

Porosität: A00.

Wartungsanforderungen

Überprüfen Sie das Servosystem alle 2000 Mal, Abweichung > 0,01 mm Kalibrierung.

Reinigen Sie die Form monatlich, um Pulverablagerungen zu vermeiden.

Typische Anwendungen

Mehrschneidige Werkzeugrohlinge, wie z. B. WC-12%Co-Fräserrohlinge (Durchmesser 40 mm), mit einer Produktionsleistung von 100 Stück/Stunde.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Einschränkung

Die Ausrüstung ist komplex und die Anfangsinvestition hoch.

1. 11. Walzenpresse

Technisches Prinzip

Für dünne Blechzuschnitte eignet sich das kontinuierliche Pressen mittels Doppelwalzen (100 MPa).

Mechanischer Aufbau

Rolle: Hartmetall oder HRC 60-Stahl, Oberfläche $Ra < 0,2 \mu m$, Durchmesser 200–500 mm.

Zuführsystem: Vibrationsvorrichtung, Frequenz 50 Hz.

Antriebssystem: Elektromotor, Leistung 10–20 kW.

Spalteinstellung: Genauigkeit $\pm 0,01$ mm.

Schlüsselkomponenten

Dickensensor: Genauigkeit $\pm 0,01$ mm.

Drehzahlsensor: Genauigkeit $\pm 0,5$ U/min.

Betriebsparameter

Pressdruck: 100 MPa.

Walzengeschwindigkeit : 5–15 U/min.

Spalt: 0,5–5 mm.

Leistungsaufnahme: 10-20 kW.

Leistungsindikatoren

Dichte des Grünblocks: 50–60 % der theoretischen Dichte (ca. $6,5-7,6 \text{ g/cm}^3$).

Härte nach dem Sintern: HRA 89.

Porosität: A02.

Wartungsanforderungen

die Polierwalze alle 1000 Walzzyklen, wenn $Ra > 0,2 \mu m$.

Überprüfen Sie die Gleichmäßigkeit des Futters monatlich.

Typische Anwendungen

Dünnblechzuschnitte, wie WC-10%Co-Dünnbleche (Dicke 2 mm, Breite 100 mm),

Produktionsleistung 200 m²/Tag.

Einschränkung

Geringe Dichte, nicht für komplexe Formen geeignet.

1.12. Explosives Verdichtungssystem

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technisches Prinzip

Um die Explosion mittels der Stoßwelle (1000–5000 MPa) schlagartig zu unterdrücken, sind spezielle Einrichtungen erforderlich.

Mechanischer Aufbau

Behälter: hochfester Stahl (40CrNiMoA, Dicke 15–20 mm), Druckfestigkeit >6000 MPa.

Sprengstoffsystem: TNT 0,5–1 kg, Platzierungsgenauigkeit ± 1 cm.

Sicherheitseinrichtungen: explosionsgeschützte Wand (Dicke > 1 m), Fernüberwachungsraum.

Schlüsselkomponenten

Manometer: Momentane Drucküberwachung, Genauigkeit ± 50 MPa.

Wärmebehandlungsöfen: 600–1000 °C, Leistung 20 kW.

Betriebsparameter

Pressdruck: 3000 MPa.

Unterdrückungszeit: <1 ms.

Stromverbrauch: Abhängig von der Explosionsenergie.

Leistungsindikatoren

Dichte des Grünlings: 90–95 % der theoretischen Dichte (ca. 11,5–12,0 g/cm³).

Härte nach dem Sintern: HRA 94.

Porosität: A00.

Wartungsanforderungen

Überprüfen Sie nach jeweils 10 Explosionen die Unversehrtheit des Behälters und ersetzen Sie ihn, wenn der Riss >0,1 mm ist.

Um die Umweltschutzstandards einzuhalten, beseitigen Sie die Rückstände monatlich.

Typische Anwendungen

Hochleistungsteile, wie WC-6%Co PVD-Targets (Durchmesser 100 mm, Dicke 5 mm), mit einer Produktionseffizienz von 10 Stück/Charge.

Einschränkung

Es stellt hohe Sicherheitsanforderungen, ist mit hohen Kosten verbunden und erfordert eine professionelle Bedienung.

1.13. Vibrationsunterstützte Presse

Technisches Prinzip

Die Kombination von Hochfrequenzvibrationen (20–100 kHz) mit Druck (200 MPa) verbessert Dichte und Gleichmäßigkeit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mechanischer Aufbau

Rahmen: Stahl, Tragfähigkeit >1000 kN .

Eindringkörper: Stahl mit hoher Härte (HRC 58), Druckfestigkeit 400 MPa.

Vibrator: Ultraschall, Leistung 2–5 kW, Frequenz 50 kHz.

Antriebssystem: Hydraulisch, Leistung 5–10 kW.

Schlüsselkomponenten

Frequenzsensor: Genauigkeit ± 2 kHz.

Dichtesensor: Genauigkeit $\pm 0,5$ %.

Betriebsparameter

Pressdruck: 200 MPa.

Vibrationsfrequenz: 50 kHz.

Presszeit: 10-20 Sekunden.

Leistungsaufnahme: 5-10 kW.

Leistungsindikatoren

Dichte des Grünlings: 65 % – 75 % der theoretischen Dichte (ca. $8,5 - 9,5 \text{ g/cm}^3$).

Härte nach dem Sintern: HRA 91.

Porosität: A00-B00.

Wartungsanforderungen

Überprüfen Sie den Vibrator alle 500 Mal auf Verschleiß. Ersetzen Sie ihn, wenn die Frequenzabweichung >5 % ist.

Reinigen Sie die Form monatlich, um Pulverablagerungen zu vermeiden.

Typische Anwendungen

Kleine Werkzeugrohlinge, wie beispielsweise WC-8%Co-Bohrerrohlinge (Durchmesser 10 mm, Höhe 15 mm), haben eine Produktionsleistung von 200 Stück/Stunde.

Einschränkung

Nicht für große Teile geeignet und erfordert eine Frequenzoptimierung.

2. Die modernste typische Hartmetallpresse

Nachfolgend sind die fortschrittlichsten und repräsentativsten Hartmetall-Kompaktpressen aufgeführt, mit ausführlichen Beschreibungen ihrer technischen Spezifikationen, Funktionsmodule, Leistungsdaten, Anwendungsfälle, F&E-Hintergründe und Marktposition, wobei den Namen Klammern und englische Übersetzungen hinzugefügt werden.

2.1 Moderne mehrachsige servohydraulische Presse

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Repräsentative Marke

Schuler AG (Deutschland), Komatsu Industries (Japan), SMS Group (Deutschland), Cincinnati (USA).

Technische Daten

Druckbereich: 400–600 MPa.

Anzahl Druckköpfe: 4-6, Antrieb über Servomotor, Verschiebungsgenauigkeit <0,01 mm.

Leistung: 30-70 kW.

Steuerungssystem: CNC (Siemens Sinumerik oder Fanuc 32i), integriertes IIoT- Modul.

Form : Hartmetallauskleidung (HRA 88), Druckfestigkeit >800 MPa, Lebensdauer >10.000-mal.

Sensoren: Mehrpunktdruck (± 1 MPa), Temperatur (± 1 °C), Verschiebung ($\pm 0,01$ mm).

Funktionsmodule

Mehrachsensteuerung : unterstützt Vier-/Sechs-Wege-Pressen, dynamische Anpassung des Druckverhältnisses (1:0,7:0,6), Abweichung <1 % .

Intelligente Überwachung : Datenerfassung in Echtzeit (100 Hz), Übertragung in die Cloud, Speicherkapazität von 10 TB.

KI -Optimierung : Modelle des maschinellen Lernens sagen optimale Parameter voraus und reduzieren die Fehlerrate um <1 %.

Vorausschauende Wartung : Basierend auf Vibrations- und Temperaturanalyse, mit einer Vorwarnzeit von 72 Stunden.

Energieverbrauchsmanagement : **Optimieren** Sie das Hydrauliksystem und senken Sie den Energieverbrauch um 5–10 %.

Leistungsdaten

Dichte des grünen Knüppels: 85 % – 90 % der theoretischen Dichte.

Härte nach dem Sintern: HRA 92-93.

Produktionseffizienz: 120 Stück/Stunde (komplexe Teile).

Anwendungsfälle

Schuler SmartPress 600 produziert WC-12%Co Mehrschneiden-Fräserrohlinge (Durchmesser 40 mm) für Airbus A350-Komponenten im Jahr 2024 mit einer Lebensdauer von >1000 m.

F&E- Hintergrund : Die F&E-Investitionen von 2019 bis 2023 betragen 150 Millionen US-Dollar, wobei der Schwerpunkt auf der Mehrachsensynchronisierung und der IIoT- Integration liegt.

Marktposition : **Der** weltweite Umsatz wird bis 2024 um 15 % steigen und 50 % des Marktes für Mehrachsenpressen ausmachen. Die Hauptkunden sind die Luftfahrt- und Automobilindustrie.

2.2 Intelligente isostatische Presse

Repräsentative Marke

Quintus Technologies (Schweden), Avure Technologies (USA), Kobe Steel (Japan), Bodycote (Großbritannien).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technische Daten

Druckbereich: 200–400 MPa (CIP), 100–200 MPa (HIP).

Temperaturbereich: 20–1450 °C (HIP-Modus).

Leistung: 50–150 kW (CIP), 150–300 kW (HIP).

Steuerungssystem: DCS (Honeywell oder ABB), unterstützt OPC UA.

Behälter: Titanlegierung oder hochfester Stahl, Druckfestigkeit >500 MPa, Innendurchmesser des Hohlraums 300–1000 mm.

Sensoren: Druck (± 1 MPa), Temperatur (± 2 °C), Gasfluss ($\pm 0,1$ l/min).

Funktionsmodule

Omnidirektionales Pressen : gleichmäßige Druckverteilung, Dichte 75 %–85 % (CIP), >99,8 % (HIP).

Automatisiertes Be- und Entladen : Die Integration eines Roboterarms verbessert die Effizienz um 20 %.

Datenanalyse : Das IoT-Modul zeichnet Prozessparameter auf und die Abweichung der KI-Optimierung beträgt <0,5 % .

Fernbedienung : 5G - Verbindung unterstützt grenzüberschreitende Zusammenarbeit mit einer Latenz von <50 ms .

Energiesparendes Design : Wärmerückgewinnungssystem reduziert den Energieverbrauch um 10–15 %.

Leistungsdaten

Dichte des grünen Knüppels: 75–85 % (CIP), > 99,8 % (HIP).

Härte nach dem Sintern: HRA 90-94.

Produktionseffizienz: 50 Stück/Charge (CIP), 20 Stück/Charge (HIP).

Anwendungsfälle

Quintus QIF 122 produziert im Jahr 2023 WC-10 % Co-Rohlinge für Luftfahrtwerkzeuge für GE Aviation mit einer Dichte von 99,5 % und einer Porosität von <0,03 %.

F&E -Hintergrund : Von 2018 bis 2022 wird das Unternehmen 200 Millionen US-Dollar in F&E investieren, wobei der Schwerpunkt auf der Entwicklung der HIP-Hochtemperatur- und Hochdrucktechnologie liegt .

Marktposition : Es wird im Jahr **2023** 40 % des weltweiten HIP-Marktes ausmachen und bis 2024 um 10 % wachsen, hauptsächlich in der Luftfahrt und Medizin eingesetzt.

2.3 Hochpräzise Spritzgusspresse

Repräsentative Marke

Arburg (Deutschland), Engel (Österreich), Sumitomo Demag (Japan), Wittmann Battenfeld (Österreich).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technische Daten

Druckbereich: 50-120 MPa.

Temperaturbereich: 150–200 °C (Fass), 50–80 °C (Form).

Leistung: 20-50 kW.

Steuerungssystem: Regelung (Beckhoff oder Bosch Rexroth), Genauigkeit $\pm 2^\circ\text{C}$, ± 2 MPa.

Form : H13-Stahl oder Hartmetall, Toleranz $< 0,01$ mm, Lebensdauer 5000–10.000 Mal.

Sensoren: Temperatur (± 1 °C), Druck (± 1 MPa), Durchflussrate ($\pm 0,1$ l/min).

Funktionsmodule

Hochpräziser Spritzguss : Toleranz $< 0,01$ mm, geeignet für Mikroteile.

Automatisierter Prozess : integriertes Entfettungs- und Kühlsystem, manueller Eingriff < 20 %.

3D- Formendesign : unterstützt additive Fertigungsformen und die Linienwechselzeit beträgt weniger als 30 Minuten.

Datenintegration : MES - Schnittstelle, Prozessdatenrückverfolgbarkeit 99 %.

Energiesparoptimierung : Wärmerückgewinnungssystem reduziert den Energieverbrauch um 5–10 % .

Leistungsdaten

Dichte des grünen Knüppels: 50 % – 60 % der theoretischen Dichte.

Härte nach dem Sintern: HRA 92.

Produktionseffizienz: 100–150 Stück/Stunde.

Anwendungsfälle

Arburg Allrounder 570 produziert im Jahr 2024 WC-6%Co-Mikrozahnräder (3 mm Durchmesser) für medizinische Implantate mit Toleranzen $< 0,01$ mm.

F&E -Hintergrund : Von 2020 bis 2023 werden 80 Millionen US-Dollar in F&E investiert, wobei der Schwerpunkt auf der Verbesserung der Präzision von Mikroteilen liegt.

Marktposition : Das Verkaufsvolumen wird bis 2024 um 12 % steigen **und** 30 % des Spritzgussmarktes ausmachen. Die Hauptkunden sind die Medizin- und Elektronikindustrie.

2.4 Explosives Verdichtungssystem

Repräsentative Marke

Kundenspezifische Ausrüstung (Technodinamika aus Russland, China North Industries, Dyno Nobel aus den USA).

Technische Daten

Druckbereich: 1000–5000 MPa (momentan).

Explosionsenergie: TNT 0,5–1 kg, Einstellbereich 0,3–2 kg.

Behälter: hochfester Stahl (40CrNiMoA, Dicke 15–20 mm), Druckfestigkeit > 6000 MPa.

Sicherheitseinrichtungen: explosionsgeschützte Wand (Dicke > 1 m), Fernüberwachungsraum, Schutzabstand > 500 m.

Sensoren: Momentandruck (± 50 MPa), Temperatur (± 10 °C).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Funktionsmodule

Unterdrückung von Stoßwellen : Dichte des grünen Knüppels 90 % – 95 %, Zeit < 1 Millisekunde.

Präzise Platzierung : Sprengstoffdichte 1,5–1,7 g/cm³, Genauigkeit der Energieregulung ±5 %.

Wärmebehandlungsintegration : 600–1000 °C, Reparatur von Mikrorissen, Zeit 2–3 Stunden.

Sicherheitsmanagement : Einhaltung von ISO 9001 und Militärstandards, Fernzündung .

Leistungsdaten

Dichte des grünen Knüppels: 90 % – 95 % der theoretischen Dichte.

Härte nach dem Sintern: HRA 94.

Produktionseffizienz: 10 Stück/Charge.

Anwendungsfall : China North Industries produziert im Jahr 2023 WC-6%Co-PVD - Targets (Durchmesser 100 mm) für die Halbleiterbeschichtung mit einer Dichte von 93 %.

F&E -Hintergrund : F&E von 2015 bis 2020 mit einer Investition von 100 Millionen US-Dollar, mit Schwerpunkt auf Sicherheit und Konsistenz.

Marktposition : Nischenmarkt, der im Jahr 2023 1 % ausmacht und im Jahr 2024 um 10 % wächst, hauptsächlich in den Bereichen Verteidigung und hochwertige Materialien verwendet.

2.5 Vibrationsunterstützte Smart Press

Repräsentative Marke

Hitachi (Japan), Siemens (Deutschland), Bosch Rexroth (Deutschland), Mitsubishi Electric (Japan).

Technische Daten :

Druckbereich: 100–300 MPa, üblicherweise werden 200 MPa verwendet.

Schwingfrequenz: 20–100 kHz, Genauigkeit ±2 kHz.

Leistung: 5–10 kW (Vibrator) + 10–20 kW (Pressen).

Steuerungssystem: PLC+IIoT- Modul (Siemens S7 oder Rockwell Allen-Bradley),

Frequenzstabilität <5 %.

Form : Stahl mit hoher Härte (HRC 58), Druckfestigkeit 400 MPa, Lebensdauer 5000 Mal.

Sensoren: Frequenz (±2 kHz), Dichte (±0,5 %), Druck (±5 MPa).

Funktionsmodule :

Vibrationsoptimierung : Eine Frequenz von 50 kHz erhöht die Dichte um 65–75 % und reduziert die Poren (A00).

Intelligente Überwachung : Sensoren liefern Feedback in Echtzeit und die Daten werden durch Edge Computing verarbeitet.

Vorausschauende Wartung : Vorhersagefehler der Vibratorlebensdauer < 5 %, Warnzeit 48 Stunden.

Kostengünstiges Upgrade : kompatibel mit vorhandenen Druckmaschinen, Amortisationszeit < 1 Jahr.

Energiesparendes Design : Der Vibrationsenergieverbrauch wird optimiert und um 5–8 % gesenkt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Leistungsdaten :

Dichte des grünen Knüppels: 65 % – 75 % der theoretischen Dichte.

Härte nach dem Sintern: HRA 91.

Produktionseffizienz: 200 Stück/Stunde.

Anwendungsfälle

Siemens Sinumerik hat eine Vibrationspresse modifiziert, um WC-8%Co-Bohrkronenrohlinge (10 mm Durchmesser) für die Ölförderung im Jahr 2024 mit einer Lebensdauer von >1200 m herzustellen.

F&E -Hintergrund : F&E von 2019 bis 2022 mit einer Investition von 50 Millionen US-Dollar, mit Schwerpunkt auf der Verbesserung der Vibrationseffizienz.

Marktposition : Wachstum von 8 % im Jahr 2024, wobei die Durchdringungsrate der kleinen und mittleren Fertigungsindustrie um 15 % steigt .

3. Hartmetall-Pressgeräte, geeignet für industrielle Internet-of-Things-Konzepte und intelligente Fertigung

Das industrielle Internet der Dinge (IIoT) und die intelligente Fertigung legen den Schwerpunkt auf die Vernetzung von Geräten, datengesteuerte Automatisierung, vorausschauende Wartung und umweltfreundliche Produktion. Die folgenden Pressentypen eignen sich aufgrund ihrer technischen Eigenschaften und ihres Upgrade-Potenzials für diesen Trend. Ihre IIoT- Eigenschaften und die Vorteile der intelligenten Fertigung werden detailliert analysiert und technische Details sowie Anwendungsbeispiele aus der Hartmetallindustrie vorgestellt.

3.1 Mehrachsige servohydraulische Presse

IIoT Merkmale :

Sensornetzwerk : Mehrpunktsensoren für Druck (± 1 MPa, 100 Hz), Temperatur (± 1 °C), Verschiebung ($\pm 0,01$ mm), mit Datenübertragung über 5G oder TSN .

Kommunikationsprotokolle : Unterstützt OPC UA, MQTT und **EtherCAT** , nahtlos integriert mit MES/ERP.

Datenspeicherung und -analyse : 10 TB Cloud-Speicher, KI-Modell analysiert Produktionsdaten und die Vorhersageabweichung beträgt <1 %.

Vorausschauende Wartung : Basierend auf Vibrations- und Temperaturdaten beträgt die Frühwarnzeit 72 Stunden und die Ausfallzeit wird um 20 % reduziert.

Vorteile der intelligenten Fertigung :

Adaptive Steuerung : CNC passt Druck und Verschiebung dynamisch an, mit manuellem Eingriff <10 %.

Flexible Produktion : schneller Formwechsel (<15 Minuten), geeignet für die individuelle Anpassung kleiner Chargen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Optimierung des Energieverbrauchs : Die Effizienz des Hydrauliksystems wird um 10 % gesteigert und der Kohlendioxidausstoß um 5–10 % gesenkt.

Qualitätsmanagement : Online - Inspektion, Ausschussrate <1 %.

Technische Details :

Edge-Computing-Einheit: 10 GFLOPS, Verarbeitungslatenz <20 ms .

Sicherheitsschutz: IP67-Firewall, AES-256-Verschlüsselung.

Anwendungsbeispiel : Schuler SmartPress 600, eingesetzt in der Airbus A350-Produktion im Jahr 2024, steigert die Effizienz um 15 % und senkt den Energieverbrauch um 8 %.

3.2 Intelligente isostatische Presse

IIoT Merkmale :

Sensornetzwerk : Druck (± 1 MPa), Temperatur (± 2 °C), Gasfluss ($\pm 0,1$ l/min), Abtastfrequenz 50 Hz.

Kommunikationsprotokoll : OPC UA, 5G-Verbindung, Latenz < 50 ms .

Datenspeicherung und -analyse : Edge-Geräte speichern 1 TB, KI optimiert Prozessparameter und die Abweichung beträgt <0,5 %.

Vorausschauende Wartung : Störungswarnung innerhalb von 48 Stunden reduziert die Wartungskosten um 15 %.

Vorteile der intelligenten Fertigung :

Automatisierte Produktion : Be- und Entladen durch Roboterarme, Zykluszeit um 10–15 % verkürzt.

Ressourcenoptimierung : Durch die Verknüpfung mit ERP konnte die Rohstoffauslastung um 5 % gesteigert und der Energieverbrauch um 10 % gesenkt werden.

Qualitätskontrolle : KI erkennt Dichtegleichmäßigkeit mit einer Ausschussrate von <0,5 % .

Umweltfreundliche Herstellung : Wärmerückgewinnungssystem reduziert den Kohlendioxidausstoß um 10–15 %.

Technische Details :

Edge Computing: 20 GFLOPS, optimiert für Echtzeit.

Sicherheitsschutz: Industrielle Firewall, konform mit ISO 27001.

Anwendungsbeispiel : Quintus QIF 122, verwendet von GE Aviation im Jahr 2023, verbessert die Dichtegleichmäßigkeit um 3 % und verkürzt den Produktionszyklus um 12 %.

3.3 Hochpräzise Spritzgusspresse

IIoT Merkmale :

Sensornetzwerk : Temperatur (± 1 °C, 1 Hz), Druck (± 1 MPa), Durchflussrate ($\pm 0,1$ l/min), Datenaktualisierung in Echtzeit.

Kommunikationsprotokoll : MQTT, industrielle Ethernet-Übertragung .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Datenspeicherung und -analyse : MES-Integration, 99 % Rückverfolgbarkeit der Prozessdaten, KI-Optimierungsparameter.

Vorausschauende Wartung : Vorhersagefehler der Formlebensdauer < 5 %, Warnzeit 24 Stunden.

Vorteile der intelligenten Fertigung :

Automatisierter Prozess : Entfetten und Kühlen erfolgen automatisiert, der manuelle Eingriff beträgt <20 %.

Flexible Produktion : 3D-Druckformen, Linienwechselzeit <30 Minuten.

Qualitätskontrolle : Closed-Loop-Feedback, Toleranz <0,01 mm , Ausschussrate <1 %.

Ressourcenmanagement : intelligente Lagerintegration, Rohstoffabfall <2 % .

Technische Details :

Edge Computing: 5 GFLOPS, Verarbeitungslatenz <30 ms .

Sicherheitsschutz: IP65, Datenverschlüsselung.

Anwendungsbeispiel : Arburg Allrounder 570, eingesetzt in medizinischen Implantaten im Jahr 2024, mit Toleranzen < 0,01 mm und 10 % höherer Effizienz .

3.4 Vibrationsunterstützte Smart Press

IIoT Merkmale :

Sensornetzwerk : Frequenz (± 2 kHz), Dichte ($\pm 0,5$ %), Druck (± 5 MPa), Abtastfrequenz 50 Hz.

Kommunikationsprotokoll : MQTT, Edge-Device-Übertragung .

Datenspeicherung und -analyse : 500 GB lokaler Speicher, KI-optimierte Vibrationsparameter.

Vorausschauende Wartung : Vorhersagefehler der Vibratorlebensdauer < 5 % , Warnzeit 48 Stunden.

Vorteile der intelligenten Fertigung :

Kostengünstiges Upgrade : kompatibel mit vorhandener Ausrüstung, Amortisationszeit < 1 Jahr.

Effizienzsteigerung : Die Dichte wurde um 5–10 % erhöht und die Produktionseffizienz um 15 % gesteigert .

Qualitätskontrolle : Poren reduzieren, Porosität A00 , Ausschussrate <2 %.

Energiesparendes Design : Der Vibrationsenergieverbrauch wird optimiert und um 5–8 % gesenkt.

Technische Details :

Edge Computing: 2 GFLOPS, Echtzeit-Feedback.

Sicherheitsschutz: IP54, Basisverschlüsselung.

Anwendungsbeispiel : Siemens Sinumerik Retrofitmaschine, eingesetzt zur Bohrerproduktion im Jahr 2024, Lebensdauer > **1200** m, Ausschussrate auf 2 % reduziert.

3.5 Rollende Smart-Press

IIoT Merkmale :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sensornetzwerk : Dicke ($\pm 0,01$ mm), Geschwindigkeit ($\pm 0,5$ U/min), Druck (± 5 MPa), Abtastfrequenz 20 Hz.

Kommunikationsprotokoll : OPC UA, Industrial Ethernet-Übertragung .

Datenspeicherung und -analyse : 1 TB Edge-Speicher, KI-optimierte Lücke und Geschwindigkeit.

Vorausschauende Wartung : Warnung vor Walzenverschleiß, Zeit 36 Stunden.

Vorteile der intelligenten Fertigung :

Online- Inspektion : Dickengleichmäßigkeit $< 0,05$ mm, Ausschussrate < 1 %.

Automatisierte Produktion : Zuführung und Schneiden sind automatisiert, wodurch die Effizienz um 20 % gesteigert wird.

Ressourcenoptimierung : integriert mit intelligenter Logistik , Rohstoffauslastung > 98 %.

Grüne Produktion : Optimierung des Energieverbrauchs, Reduzierung um 5–10 %.

Technische Details :

Edge Computing: 5 GFLOPS, in Echtzeit skaliert.

Sicherheitsschutz: IP67, Datenverschlüsselung.

Anwendungsbeispiele

Maßgeschneiderte Walzenpresse für verschleißfeste Beschichtungssubstrate im Jahr 2024 mit 10 % höherer Leistung und Dickengleichmäßigkeit $< 0,02$ mm.

4. Technische Trends und Anforderungen an Hartmetall-Pressanlagen für die intelligente Fertigung

Sensoren und Datenerfassung : hochpräzise Sensoren (Druck ± 1 MPa, Temperatur ± 1 °C, Verschiebung $\pm 0,01$ mm), Abtastfrequenz 50–100 Hz, 5G- oder TSN-Übertragung, Datenintegrität $> 99,9$ %.

Edge Computing : Integrierte Edge-Computing-Einheit, Verarbeitungsleistung 10–20 GFLOPS, Echtzeit-Optimierungsparameter, Latenz < 20 ms .

KI -Optimierung : Integriert Deep-Learning-Modelle, um optimale Parameter auf der Grundlage historischer Daten vorherzusagen, wodurch die Genauigkeit bei einem Trainingszyklus von weniger als einer Woche um 5–10 % verbessert wird.

Standardisierte Protokolle : Unterstützt OPC UA, MQTT, EtherCAT und PROFINET, ist mit dem Smart-Factory-Ökosystem kompatibel und hat eine Protokollkonvertierungseffizienz von > 95 %.

Sicherheit : Ausgestattet mit einer industriellen Firewall (IP67, Schutzstufe 6), AES-256-Verschlüsselung, konform mit den Standards ISO 27001 und NIST 800-53 und einer Erfolgsquote bei der Angriffsabwehr von $< 0,1$ %.

Grüne Fertigung : Modul zur Optimierung des Energieverbrauchs, das die Kohlenstoffemissionen um 5–15 % reduziert, im Einklang mit ISO 14001 und den Zielen der Kohlenstoffneutralität (Netto-Null-Emissionen im Jahr 2030).

Mensch-Computer- Interaktion : Ausgestattet mit einer AR/VR-Schnittstelle, unterstützt Fernbetrieb und -schulung und reduziert menschliche Fehler um > 20 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Herausforderungen und Perspektiven von Hartmetall-Pressanlagen für die intelligente Fertigung

Herausforderung :

Anfangsinvestition : Intelligente Geräte sind teuer (z. B. Mehrachsenpresse > 2 Millionen US-Dollar, HIP > 5 Millionen US-Dollar) und kleine und mittlere Unternehmen müssen schrittweise aufrüsten .

Technischer Schwellenwert : Die IIoT- Integration erfordert ein professionelles Team mit einer Schulungszeit von 6–12 Monaten und einem Mangel an technischem Personal von 10–15 %.

Datensicherheit : Das Risiko von Cyberangriffen steigt und 5–10 % des Budgets müssen in die Sicherheit investiert werden .

Kompatibilität : Es ist schwierig, alte Geräte zu aktualisieren, und die Schnittstellenanpassungsrate liegt bei <70 %.

Aussicht :

Marktwachstum : Von 2025 bis 2030 wird der Markt für IIoT - Geräte voraussichtlich jährlich um 10–12 % wachsen, und die Nachfrage nach intelligenten Pressen wird jährlich um 15 % steigen. Das Marktvolumen wird 2025 5 Milliarden US-Dollar und 2030 voraussichtlich 8 Milliarden US-Dollar erreichen.

Technologieintegration : In Kombination mit additiver Fertigung (3D-Druck), digitalen Zwillingen und **Blockchain** -Technologie wird der gesamte Prozess bis 2026 digitalisiert und die Effizienz um 20 bis 30 % gesteigert.

Politische Unterstützung : Chinas „14. Fünfjahresplan“ sieht eine Subvention von 20 bis 30 Prozent vor und die EU stellt im Rahmen ihres „Industrie 4.0“-Programms eine Milliarde Euro bereit, um Investitionen in die intelligente Fertigung zu fördern.

Branchentrends : Bis 2025 werden 50 % der Pressmaschinen weltweit über IIoT- Funktionen verfügen und bis 2030 wird **die** intelligente Fertigung 60 % des Produktionswerts ausmachen.

Zusammenfassen

Es gibt eine große Vielfalt an Hartmetallpressen. Sie umfassen 13 Typen, von Einwegpressen bis hin zu explosiven Verdichtungssystemen, und jede hat ihre eigenen technischen Vorteile und Anwendungsszenarien. Fortschrittliche Vertreter wie die moderne mehrachsige servohydraulische Presse und die intelligente isostatische Presse vereinen hohe Präzision, Automatisierung und Intelligenz und erreichen eine Rohblockdichte von 85–95 % und eine Härte von HRA 92–94. Für das industrielle Internet der Dinge und intelligente Fertigung geeignete Geräte (wie Schuler SmartPress und Quintus QIF) verbessern die Produktionseffizienz (15–20 %), die Qualität (Fehlerrate < 1 %) und die Flexibilität durch Sensoren, KI-Optimierung und Datenvernetzung erheblich und werden künftig die High-End-Fertigung in den Bereichen Luftfahrt, Automobil und Gesundheitswesen fördern. Es wird erwartet, dass der Markt zwischen 2025 und 2030 auf 8 Milliarden US-Dollar anwächst und der Intelligenzgrad über 70 % erreicht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vergleichstabelle für Hartmetallpressen

Gerätename (Gerätename)	Technisches Prinzip (Technisches Prinzip)	Druckber eich (Druckber eich)	Grüne Dichte	Presszeit	Produktionseff izienz (Produktionsef fizienz)	Typische Anwendung (Typische Anwendung)	Wartungsanforde rungen (Wartungsanforde rungen)	Einschränkung Einschränkunge n	Intelligen tes Potenzial Smart Manu Potenzial)
Eindirektionale Presse	Uniaxiales Vertikalpressen	100-300 MPa	50%- 65% der theoretis chen Dichte (6,5-8,0 g/cm³)	5-10 Sekunden	200 Stück/Stunde	Teile mit einfacher Geometrie, wie z. B. WC-8%Co- Schneideinsä tze	Überprüfen Sie den Formverschleiß jeden Monat und reinigen Sie den Presskopf alle 500 Mal	Großer Dichtegradient (>10%), nicht für komplexe Formen geeignet	Niedrig – erfordert erhebliche Upgrades zur Unterstütz ung von IIoT
Doppelrichtung spresse	Üben Sie Druck nach oben und unten oder in mehrere Richtungen aus	200-400 MPa	60%- 75% der theoretis chen Dichte (7,8-9,5 g/cm³)	10-20 Sekunden	150 Stück/Stunde	Mittelkompl exe Formen, wie z. B. WC-10%Co- Fräserrohling e	Überprüfen Sie die Druckkopfsynchro nisation alle 1000 Mal und wechseln Sie das Öl jedes Vierteljahr	Nicht geeignet für hochkomplexe Formen	Moderat – Teilweise aktualisier bar zur Unterstütz ung von IIoT
Kaltisostatische Presse (CIP)	Omnidirektionale Flüssigkeitsunterd rückung	200-400 MPa	75%- 85% der theoretis chen Dichte (9,7-10,8 g/cm³)	3-10 Minuten	50 Stück/Charge	Teile mit komplexer Geometrie, wie z. B. WC-12 % Co- Werkzeugro hlänge für die Luft- und Raumfahrt	Überprüfen Sie die Dichtung alle 500 Stunden und wechseln Sie die Flüssigkeit jedes Vierteljahr	Langer Zyklus und hohe Gerätekosten	Hoch – Geeignet für industriell es IoT und Smart Manufact uring
Heißisostatische Presse (HIP)	Nachbearbeitung bei hohen Temperaturen und hohem Druck	100-200 MPa	>99,8% theoretis che Dichte (12,5- 13,0	1-4 Stunden	20 Stück/Charge	Hochzuverlä ssige Teile wie WC- 10%Co- Bergbaubohr er	den Wasserkocher alle 1000 Stunden und ersetzen Sie den Filter jedes Vierteljahr	Extrem teuer, hauptsächlich für die Nachbearbeitung verwendet	Hoch – Geeignet für industriell es IoT und Smart

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			g/cm³)						Manufacturing
Matrizenpressmaschine	Matrizengebunden Einzel-/Doppelpressen	200 MPa	60%-70% der theoretischen Dichte (7,8-9,0 g/cm³)	5-10 Sekunden	300 Stück/Stunde	Standardisierte Schneideinsätze, wie z. B. WC-8%Co-Einsätze	Wechseln Sie die Form alle 500 Mal und reinigen Sie den Druckkopf jeden Monat	Begrenzte Form, schneller Formverschleiß	Niedrig – Muss aktualisiert werden, um das industrielle Internet der Dinge zu unterstützen
Strangpresse	Schneckenextrusion	300 MPa	55%-65% der theoretischen Dichte (7,0-8,3 g/cm³)	0,5-2 m/min (Geschwindigkeit)	10 m/Stunde	Schlanke Stäbe, wie z. B. WC-10%Co-Stäbe	Überprüfen Sie die Form alle 500 Meter und reinigen Sie die Schraube jeden Monat	Entfettungsprozess ist erforderlich, und der Prozess ist kompliziert	Moderat – Kann IIoT teilweise unterstützen
Spritzgusspressen	Pulver-Binder-Spritzgießen	50-120 MPa	50%-60% der theoretischen Dichte (6,5-7,6 g/cm³)	Zykluszeit: ca. 1 Minute	100 Stück/Stunde	Mikroteile, wie WC-6%Co-Zahnräder	Überprüfen Sie die Form alle 1000 Mal und reinigen Sie das Fass jeden Monat	Viele Prozesse und hohe Kosten	Hoch – Geeignet für industrielle Smart Manufacturing
Trockensackpresse	Festes Gummiformpressen	300 MPa	70%-75% der theoretischen Dichte (9,0-9,5 g/cm³)	5-10 Minuten	80 Stück/Charge	Mittelgroße Teile, wie z. B. WC-8%Co-Lagerhülsen	Überprüfen Sie die Alterung der Form alle 500 Mal und reinigen Sie den Behälter jeden Monat	Begrenzte Form, mittlere Kosten	Moderat – kann IIoT teilweise unterstützen
Multidirektionale Presse	Mehrkopf-3D-Komprimierung	400 MPa, lateral 300 MPa	75%-80% der theoretischen Dichte	10-20 Sekunden	120 Stück/Stunde	Komplexe Werkzeuggröße, wie z. B. WC-8%Co-	Überprüfen Sie den Eindringkörper alle 1000 Mal und kalibrieren Sie das System monatlich	Die Ausrüstung ist komplex und die Kosten sind hoch	Hoch – Geeignet für die intelligente

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

			(9,7-10,2 g/cm³)				Mehrkant-Werkzeugrohlinge			Fertigung im industriellen IoT
Mehraxiale nicht-isostatische Presse	Vier-Wege/Sechsen-Wege-unabhängiger Druck	Vertikal 500 MPa lateral 400 MPa	85%-90% der theoretischen Dichte (10,8-11,4 g/cm³)	10-20 Sekunden	100 Stück/Stunde		Mehrschneidige Werkzeugrohlinge, wie z. B. WC-12%Co-Fräserrohlinge	Überprüfen Sie den Servo alle 2.000 Mal und reinigen Sie die Form jeden Monat	Komplexe Ausrüstung und hohe Anfangsinvestition	Hoch Geeignet für industrielles IoT und Smart Manufacturing
Walzenpresse	Doppelwalzen-Kontinuierliches Pressen	100 MPa	50%-60% der theoretischen Dichte (6,5-7,6 g/cm³)	5-15 U/min (Geschwindigkeit)	200 m² / Tag		Dünnblechrohling, z. B. WC-10%Co-Dünnblech	Polieren Sie die Walze alle 1000 Mal und überprüfen Sie den Vorschub jeden Monat	Geringere Dichte, nicht für komplexe Formen geeignet	Hoch Geeignet für industrielles IoT und Smart Manufacturing
Explosives Verdichtungssystem	Unterdrückung von Explosionsstoßwellen	1000-5000 MPa	90%-95% der theoretischen Dichte (11,5-12,0 g/cm³)	< 1 ms	10 Stück/Charge		Hochleistungsteile, wie z. B. WC-6%Co PVD-Targets	Überprüfen Sie den Behälter alle 10 Mal und reinigen Sie die Rückstände jeden Monat	Hohe Sicherheitsanforderungen und hohe Kosten	Niedrig Schwierig in das industrielle IoT zu integrieren
Vibrationsunterstützte Presse	Hochfrequente Vibration + Druck	200 MPa	65%-75% der theoretischen Dichte (8,5-9,5 g/cm³)	10-20 Sekunden	200 Stück/Stunde		Kleine Werkzeugrohlinge, wie z. B. WC-8%Co-Bohrerrohlinge	Überprüfen Sie den Vibrator alle 500 Mal und reinigen Sie die Form jeden Monat	Nicht für große Teile geeignet	Hoch Geeignet für industrielle IoT und Smart Manufacturing

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Anhang:

**ISO 4489:2009
Hartmetall
Leitfaden zum Sinterprozess**

1. Geltungsbereich

Diese internationale Norm legt die Richtlinien für den Sinterprozess von Hartmetall (hauptsächlich Werkstoffe auf Wolframkarbidbasis, z. B. WC-Co-Legierungen) fest und eignet sich zur Herstellung von Hochleistungs-Hartmetallprodukten für Schneidwerkzeuge, Schleifmittel, verschleißfeste Teile usw. Die Norm umfasst die Auswahl der Rohstoffe, Prozessparameter, Qualitätskontrolle sowie Sicherheits- und Umweltschutzanforderungen, jedoch keine spezifische Gerätekonstruktion oder Produktionsskala.

2. Normative Verweisungen

ISO 4505:1978, Hartmetalle – Bestimmung der physikalischen Eigenschaften.

ISO 3327:2009, Hartmetalle – Verfahren zur Bestimmung der Dichte.

ISO 3738:2001, Hartmetalle – Verfahren zur Bestimmung der Härte (HRA).

ISO 4506:1979, Hartmetalle – Methoden der Mikrostrukturanalyse.

3. Begriffe und Definitionen

Hartmetall: Ein hochhartes, verschleißfestes Material, das in einem pulvermetallurgischen Verfahren unter Verwendung von feuerfesten Metallcarbiden (wie WC) und einer Bindephase (wie Co) gesintert wird.

Sintern: Eine Methode, bei der Pulverpartikel bei hoher Temperatur zu einem dichten Körper verbunden werden, einschließlich Vakuumsintern, heißisostatisches Pressen usw.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

das Formmittel und die vorläufige Verfestigung vor dem eigentlichen Sintern.

Porosität: Der Volumenanteil des ungefüllten Anteils eines Sinterkörpers, unterteilt in drei Kategorien: A, B und C (A02 ist die höchste Qualitätsstufe).

4. Prozessanforderungen

4.1 Rohstoffanforderungen

Wolframcarbid (WC)-Pulver: Partikelgröße sollte im Bereich von 0,5–5 μm liegen, Reinheit $\geq 99,5\%$, Sauerstoffgehalt < 300 ppm.

Bindephase (z. B. Co): Partikelgröße 1–3 μm , Reinheit $\geq 99,5\%$, Gehalt an Verunreinigungen (z. B. Fe, Ni) < 100 ppm.

Kohlenstoffregler: Reinheit $\geq 99,5\%$, Partikelgröße < 1 μm .

4.2 Mischen

Der Mischvorgang sollte eine gleichmäßige Verteilung der Partikelgröße gewährleisten und eine Abweichung von $< 5\%$ aufweisen.

Es können Nass- oder Trockenschleifverfahren verwendet werden und das empfohlene Kugel-Material-Verhältnis beträgt 5:1 bis 10:1.

Wenn ein Formmittel (wie etwa Paraffin) verwendet wird, sollte die Zugabemenge auf 1–3 Gew.-% begrenzt werden und muss während des Vorsinterns vollständig entfernt werden.

4.3 Umformen

Pressdruckbereich: 100–200 MPa, die Knüppeldichte sollte 50–60 % der theoretischen Dichte erreichen.

Spritzgusstemperatur: 150–180 $^{\circ}\text{C}$, Formtemperatur 50–70 $^{\circ}\text{C}$.

Die Maßabweichung sollte innerhalb von $\pm 0,5$ mm liegen.

4.4 Vorsintern

Temperaturbereich: 300–800 $^{\circ}\text{C}$, Atmosphäre: Wasserstoff oder Inertgas, Durchflussrate: 10–30 m^3/h .

Entparaffinierungszeit: 3–5 Stunden, Restkohlenstoffgehalt $< 0,1\%$.

Die Festigkeit des vorgesinterten Rohlings sollte ≥ 5 MPa betragen.

4.5 Sintern

Vakuumsintern: Temperatur 1350–1500 $^{\circ}\text{C}$, Vakuumgrad $\leq 0,01$ Pa, Haltezeit 0,5–2 Stunden.

Heißisostatisches Pressen (HIP): Temperatur 1300–1450 $^{\circ}\text{C}$, Druck 80–150 MPa, Haltezeit 20–60 Minuten.

Empfohlene Dichte $\geq 99\%$ der theoretischen Dichte, Porosität \leq A02-Grad.

4.6 Nachbearbeitung

Abkühlrate: 2–5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$, um thermische Spannungsrisse zu vermeiden.

Oberflächenbehandlung: Schleifen oder Polieren, Oberflächenrauheit $Ra \leq 0,8$ μm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5. Qualitätskontrolle

5.1 Chemische Zusammensetzung

Wolframcarbidgehalt: 85–95 Gew.-% (je nach Rezeptur eingestellt).

Gehalt an gebundener Phase: 5–15 % Gew. .

Verunreinigungen: Fe<50 ppm, O<200 ppm, N<300 ppm.

5.2 Physikalische Eigenschaften

Dichte: Je nach Formulierung, Bereich 14,0–15,0 g/cm³ (ISO 3327).

Härte: HRA 88-94 (ISO 3738).

Biegefestigkeit: >2000 MPa (ISO 4505).

5.3 Mikrostruktur

Korngröße: ≤1 μm (vorzugsweise 0,5–0,8 μm).

Porosität: ≤A02 (ISO 4506).

Keine η-Phase oder freier Kohlenstoff (durch Röntgendiffraktometer nachgewiesen).

5.4 Nachweismethoden

Partikelgröße: Laser-Partikelgrößenanalysator (ISO 13320).

Dichte: Archimedes-Methode oder Quecksilber-Eindringmethode.

Härte: Rockwell A-Härteprüfer.

Mikrostruktur: optische Mikroskopie oder Rasterelektronenmikroskopie (REM).

6. Sicherheitsanforderungen

Gasverwendung: Der Wasserstoffbetriebsbereich muss mit explosions sicheren Wänden (Dicke ≥ 0,3 m), Belüftungssystemen (Luftwechselrate ≥ 10-mal/Stunde) und Leckalarmen (Erkennungsgrenze 0,05 %) ausgestattet sein.

Hochtemperaturschutz: Der Betriebsbereich des Sinterofens muss mit einer Wärmedämmung ausgestattet sein und der Temperaturüberwachungsbereich beträgt 50–1500 °C.

Persönlicher Schutz: Die Bediener müssen hitzebeständige Kleidung, Staubmasken und Schutzbrillen tragen.

7. Umweltaforderungen

Abgasbehandlung: Der CO-Gehalt im Verbrennungsabgas beträgt <50 ppm und wird in einem Abgasreinigungsturm mit einer Effizienz von ≥95 % behandelt.

Abwassermanagement: Formstoff-Abfallflüssigkeit muss recycelt oder behandelt werden, CSB <100 mg/L.

Lärmschutz: Betriebsgeräusch der Geräte <85 dB(A).

8. Dokumentation und Aufzeichnungen

Für jede Produktionscharge müssen die Chargennummer des Rohmaterials, die Prozessparameter

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Temperatur, Druck, Zeit), die Testergebnisse und die Bedienerinformationen aufgezeichnet werden.
Aufbewahrungsdauer der Qualitätsaufzeichnungen: mindestens 5 Jahre.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

GB/T 4505-2008

Hartmetall

Methoden der Probenahme und Probenvorbereitung

Vorwort

Diese Norm wurde gemäß den Bestimmungen des Normungsgesetzes der Volksrepublik China formuliert. Sie ist eine Überarbeitung der ursprünglichen Norm GB/T 4505-1996 „Methoden zur Probenahme und Probenvorbereitung für Hartmetall“. Sie basiert im Wesentlichen auf den neuesten technischen Entwicklungen bei der Herstellung und Anwendung von Hartmetall und bezieht sich auf die internationalen Normen ISO 4505:1978 (Bestimmung von Porosität und freiem Kohlenstoff in der Hartmetallmetallographie) und ISO 3326:2013 (Methoden zur Probenahme und Probenvorbereitung für Hartmetall). In Kombination mit den Anforderungen der chinesischen Industrie werden Anforderungen an die Gleichmäßigkeit der Probenahme, Methoden zur Kontrolle der Mikrostruktur während der Probenvorbereitung, Anforderungen an die Umweltkontrolle und Spezifikationen zur Probenvorbereitung für verschiedene Prüfzenarien hinzugefügt.

Diese Norm wird vom Verband der chinesischen Maschinenindustrie vorgeschlagen und verwaltet. Die Vereinigung der chinesischen Hartmetallindustrie ist für die Auslegung dieser Norm verantwortlich. Zu den Erarbeitungsstellen dieser Norm gehören: Institut für Metallforschung, Chinesische Akademie der Wissenschaften, Technische Universität Peking, Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd. und Chengdu Tool Research Institute.

Die Hauptverfasser dieser Norm sind:

Dieser Standard soll ab dem 1. Dezember 2008 umgesetzt werden und gleichzeitig soll der ursprüngliche GB/T 4505-1996 abgeschafft werden.

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt die Verfahren zur Probenahme und Probenvorbereitung von Hartmetall (hauptsächlich WC-Co, einschließlich Verbundhartmetall mit anderen Hartmetallen wie TiC, TaC usw.) während der Produktion, Qualitätsprüfung und wissenschaftlichen Forschung, einschließlich Probenahmeprinzipien, Probenahmemethoden, Probenauswahl, Vorbereitungsprozess, Anforderungen an die Qualitätskontrolle, Probenkonservierung und zugehörige Testüberprüfung. Diese Norm gilt für die Probenahme und Probenvorbereitung von Hartmetallrohlingen, Sinterprodukten und verarbeiteten Produkten und wird hauptsächlich für folgende Tests verwendet: Metallographische Strukturanalyse (z. B. Korngröße, Porosität, Phasenverteilung).

Prüfungen mechanischer Eigenschaften (wie Härte, Bruchzähigkeit, Biegefestigkeit).

Analyse der chemischen Zusammensetzung (z. B. WC, Co, Additivgehalt).

Dieser Standard gilt nicht für die folgenden Situationen:

mit speziellen Oberflächenbeschichtungen (wie TiN, CrN, Al₂O₃).

Nicht auf WC-Co basierende Verbundwerkstoffe (wie Cermets).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Besondere Anforderungen an die Aufbereitung von ultrafeinkörnigem (Korngröße < 0,1 μm) Hartmetall.

2 Normative Verweisungen

Die Bestimmungen der folgenden Dokumente werden durch Verweis in dieser Norm zu Bestimmungen dieser Norm. Bei allen referenzierten Dokumenten mit Datum sind alle nachfolgenden Änderungen (ausgenommen Errata) oder Überarbeitungen auf diese Norm nicht anwendbar. Parteien, die eine Vereinbarung auf Grundlage dieser Norm treffen, werden jedoch gebeten, zu prüfen, ob die neuesten Versionen dieser Dokumente verwendet werden können. Bei allen referenzierten Dokumenten ohne Datum sind die neuesten Versionen auf diese Norm anwendbar.

GB/T 1997-2008 Hartmetall-Terminologie

GB/T 2007.1-1987 Allgemeine Regeln für die Probenahme und Probenvorbereitung von Schüttmineralien

GB/T 2597-2008 Prüfverfahren für die Porosität von Hartmetall

GB/T 3489-2008 Methode zur Bestimmung der Mikrostruktur von Hartmetall

GB/T 5248-2008 Chemische Analysemethoden für Hartmetall

GB/T 5313-2008 Prüfverfahren für die metallografische Struktur von Hartmetall

GB/T 7997-2008 Prüfverfahren für die Vickershärte von Hartmetall

GB/T 18376-2008 Verfahren zur Bestimmung der Hartmetallkorngröße

ISO 4505:1978 Metallographische Bestimmung der Porosität und des freien Kohlenstoffs in Hartmetallen

ISO 3326:2013 Verfahren zur Probenahme und Vorbereitung von Prüfkörpern aus Hartmetall

3 Begriffe und Definitionen

Dieser Standard übernimmt die folgenden Begriffe und Definitionen und bezieht sich auf GB/T 1997-2008.

3.1 Probenentnahmeteil (Teil)

Ein repräsentativer Teil, der aus einem Hartmetallrohling, einem Sinterprodukt oder einem verarbeiteten Produkt für die anschließende Probenvorbereitung herausgeschnitten wird.

3.2 Probe:

Die endgültige Form eines Materials, das mit mechanischen oder manuellen Methoden zur Analyse oder Prüfung vorbereitet wurde (z. B. Bohrspäne, Schleifspäne, Scheiben oder Blockproben).

3.3 Korngröße

Die durchschnittliche Korngröße der WC-Phase in Hartmetall, üblicherweise in μm , wird mit der Querschnittsmethode oder der linearen Achsenabschnittsmethode gemessen.

3.4 Porosität

Der Volumenanteil der Poren in einer Probe, ausgedrückt als Prozentsatz (%), normalerweise

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

gemessen durch metallografische Mikroskopie oder Dichtemethode.

3.5 Freier Kohlenstoff:

Kohlenstoff in Hartmetall, der mit Metallen keine Carbide bildet, in Form der C-Phase vorliegt und normalerweise unter einem metallografischen Mikroskop beobachtet wird.

3.6 Co-Segregation

Durch die ungleichmäßige Verteilung der Co-Phase in der Mikrostruktur des Hartmetalls können sich Co-Pools (Größe $> 5 \mu\text{m}$) bilden, die die Leistung beeinträchtigen.

3.7 Oberflächenrauheit

Die Ebenheit der Probenoberfläche wird üblicherweise als Ra (arithmetischer Mittenrauwert) in μm ausgedrückt.

4 Grundsätze der Probenahme

4.1 Zweck der Probenahme

Zweck der Probenahme besteht darin, repräsentative Proben für die Prüfung der chemischen Zusammensetzung, der Mikrostruktur, der mechanischen Eigenschaften und anderer physikalischer Eigenschaften von Hartmetall zu erhalten, um sicherzustellen, dass die Testergebnisse die Gesamteigenschaften des Materials widerspiegeln.

4.2 Repräsentativität der Stichprobe

Der beprobte Teil sollte die Gesamteigenschaften der Materialcharge widerspiegeln und die Auswahl von Oberflächenfehlern (wie Rissen, Oxidschichten, Verbrennungen) oder Randeffektbereichen ($> 5 \text{ mm}$ vom Rand entfernt) vermeiden.

Die Probenahmepunkte sollten gleichmäßig verteilt sein und den Hauptbereich des Produktquerschnitts (mindestens 80 %) abdecken. Bei Sonderformteilen sollten sie den wichtigsten Spannungsbereich und den geometrischen Mittelpunkt abdecken.

4.3 Abtastzeitpunkt

Grünkörperbeprobung: Sie wird nach dem Pressen und vor dem Sintern durchgeführt, um mikrostrukturelle Veränderungen durch den Sinterprozess zu vermeiden.

Probenahme von Sinterprodukten: Die Probenahme sollte nach dem Abkühlen des Sinterprozesses auf Raumtemperatur (20–25 °C) erfolgen, um zu vermeiden, dass hohe Temperaturen ($> 200 \text{ °C}$) die Mikrostruktur beeinträchtigen.

Probenahme verarbeiteter Produkte: Dies sollte nach Abschluss der Endverarbeitung (z. B. Schleifen und Polieren) erfolgen, um sicherzustellen, dass auf dem beprobten Teil keine Verarbeitungsspannungen ($< 50 \text{ MPa}$) auftreten.

4.4 Probenmenge

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Partie \leq 100 kg: 2-3 Portionen beproben.

Charge 100–500 kg: Probe 4–6 Portionen.

Charge 500-1000 kg: Probe 6-8 Portionen.

Charge $>$ 1000 kg: Probenahme von 8–12 Teilen, abhängig von der Produktkomplexität und -geometrie.

Bei Teilen mit Sonderformen oder komplexen Strukturen (wie etwa Werkzeugen und Bohrern) muss für jeden geometrischen Merkmalsbereich mindestens ein Teil beprobt werden.

4.5 Probenahmeumgebung

Temperatur der Probenentnahmeumgebung: 15–25 °C, Luftfeuchtigkeit $<$ 60 %, Wasser- oder Ölverunreinigung vermeiden.

Der Probenahmebereich sollte eine staubfreie Umgebung mit einer Luftstaubpartikelkonzentration von $<10^3$ Partikeln/m³ sein .

5 Probenahmemethoden

5.1 Werkzeuge und Geräte zur Probenahme

Schneidwerkzeuge: Diamantsägeblätter (Durchmesser 100-150 mm, Dicke 0,5-1 mm) oder Hartmetallwerkzeuge (Härte HV $>$ 1800).

Bohrwerkzeug: Hartmetallbohrer (Durchmesser 2-5 mm, Härte HV 1800), Bohrdrehzahl 50-100 U/min.

Reinigungsgerät: Ultraschallreinigungsgerät (Leistung 100–150 W, Frequenz 40 kHz).

Schutzmaßnahmen: Verwenden Sie während der Probenentnahme Kühlmittel (5 % wasserlösliche Schneidflüssigkeit), um hohe Temperaturen ($>$ 200 °C) zu vermeiden, die zu Kornwachstum ($>$ 2 μ m) führen können .

5.2 Probenahmeverfahren

Oberflächenvorbereitung:

Verwenden Sie Schleifpapier (Körnung 800–1200#) oder eine Diamantschleifscheibe (Körnung 1000#), um die Oxidschicht auf der Oberfläche zu entfernen (Dicke $<$ 0,1 mm).

Mittels Ultraschallreinigung (Frequenz 40 kHz, Dauer 10 min, deionisiertes Wasser) wurden Oberflächenöl und Partikel (Partikelgröße $>$ 0,01 mm) entfernt.

Markieren Sie den Ort der Probenentnahme:

Markieren Sie die Probenahmepunkte entsprechend der Produktgeometrie und dem Spannungsbereich und zeichnen Sie die Probenahmeposition auf (mit der Produktmitte als Ursprung und einer Koordinatenabweichung von $<$ 0,5 mm).

Die Entnahmestellen sollten schadhafte Bereiche (Risslänge $>$ 0,05 mm, Porosität $>$ 1 %) vermeiden.

Schnittprobenteil:

Verwenden Sie ein Diamantsägeblatt, um entlang der Längs- oder Querrichtung des Produkts zu schneiden. Die Größe des Probenteils beträgt 10 mm \times 10 mm \times 5 mm (metallografische Analyse)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

oder 20 mm × 10 mm × 5 mm (mechanischer Test).

Schnittgeschwindigkeit: 2000–3000 U/min, Vorschubgeschwindigkeit: 0,5–1 mm/min.

Glätte des Schnitts: Abweichung <0,02 mm, keine offensichtlichen Verbrennungen oder Risse (Verbrennungstiefe <0,05 mm).

Bohrlochprobenahme (chemische Analyse):

Zum Bohren der Probe am Probenstück wird ein Hartmetallbohrer verwendet, mit einer Bohrspanlänge von 5-10 mm und einer Masse von >5 g.

Bohrtiefe: 5-10 mm, Lochdurchmesserabweichung <0,1 mm.

Aufnahme und Verpackung:

Notieren Sie den Ort der Probenahme, das Datum, die Umgebungsbedingungen (Temperatur 15–25 °C, Luftfeuchtigkeit < 60 %) und den Bediener.

Legen Sie das beprobte Teil in einen verschlossenen Beutel (feuchtigkeits- und staubdicht) und kennzeichnen Sie die Nummer.

5.3 Sicherheitsanforderungen

Die Bediener müssen eine Schutzbrille, eine Staubmaske und Handschuhe tragen.

Verwenden Sie beim Schneiden und Bohren Kühlmittel, um hohe Temperaturen (> 200 °C) zu vermeiden, die zu mikrostrukturellen Veränderungen führen können.

Vermeiden Sie das Einatmen von Staub und statten Sie den Betriebsbereich mit einer Belüftungseinrichtung aus (Windgeschwindigkeit > 0,5 m/s).

5.4 Qualitätskontrolle bei der Probenahme

Das beprobte Teil weist keine offensichtlichen Defekte auf (Risslänge <0,05 mm, Porosität <1 %).

Oberflächenrauheit des Probenentnahmeteils: Ra < 0,5 µm .

Gewichtsabweichung der entnommenen Portion: <0,2 g (Probe für chemische Analyse).

6. Probenvorbereitung

6.1 Art und Zweck der Proben

Metallografische Analyseprobe: dient zur Beobachtung der Mikrostruktur (Korngröße, Porosität, Co-Verteilung), Größe beträgt 10 mm × 10 mm × 5 mm.

Proben mit mechanischen Eigenschaften: werden für Härte-, Zähigkeits- und Biegefestigkeitstests verwendet und haben eine Größe von 20 mm × 10 mm × 5 mm (Härte, Zähigkeit) oder 40 mm × 5 mm × 5 mm (Biegefestigkeit).

Probe für die chemische Analyse: Wird für die Komponentenanalyse verwendet, Masse > 5 g, Partikelgröße < 0,5 mm.

6.2 Probenvorbereitungsprozess

6.2.1 Schrubbearbeitung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verwenden Sie eine Diamantschleifscheibe (Körnung 150–200#), um die Oberflächenbearbeitungsschicht (Dicke 0,2–0,5 mm) abzuschleifen und zu entfernen.

Schleifgeschwindigkeit: 500–1000 U/min, Druck: 20–30 N.

Oberflächenrauheit: $R_a < 1 \mu\text{m}$.

6.2.2 Fertigstellung

Verwenden Sie zum Polieren eine Diamantpolierscheibe (Körnung 800–1200#). Die Polierzeit beträgt 5–10 Minuten.

Polierflüssigkeit: Diamantsuspension (Partikelgröße 1–3 μm), Konzentration 5 %.

Oberflächenrauheit: $R_a < 0,1 \mu\text{m}$, Ebenheitsabweichung $< 0,01 \text{ mm}$.

6.2.3 Wärmebehandlung (optional)

Wenn die Probe für metallografische Analysen verwendet werden soll, müssen die inneren Spannungen entfernt werden: Erhitzen Sie sie in einem Vakuumofen (Vakuumgrad $< 10^{-2} \text{ Pa}$) auf $600 \text{ }^\circ\text{C}$, halten Sie diese Temperatur 1 Stunde lang und kühlen Sie mit einer Geschwindigkeit von $3\text{--}5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ ab.

Innere Spannung: $< 50 \text{ MPa}$ (gemessen durch Röntgenbeugung, Peakbreitenabweichung $< 0,2^\circ$).

6.2.4 Korrosion (metallografische Proben)

mit Murakami-Reagenz (10 g $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ + 10 g KOH + 100 ml H_2O) für 5–10 Sekunden ergaben sich die WC-Phase und die Co-Phase.

Korrosionstemperatur: $20\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C}$, Korrosionstiefe: $0,5\text{--}1 \mu\text{m}$.

Mit deionisiertem Wasser (pH 6–8) waschen und trocknen ($50 \text{ }^\circ\text{C}$, 10 Min.).

6.2.5 Zerkleinerung der chemischen Analyseprobe

Die Probe wurde mittels Hartmetallmörser (Härte HV 1800) oder Vibrationsmühle (Frequenz 30 Hz, Zeit 10 min) auf eine Korngröße $< 0,5 \text{ mm}$ zerkleinert.

Verunreinigungen vermeiden: Mörtelreinigung (Ultraschall, 40 kHz, 10 min), Pulversiebung (200 Mesh-Sieb, Porengröße $< 0,074 \text{ mm}$).

6.3 Qualitätskontrolle

Metallographische Probe:

Porosität: $\leq 1 \%$, gemessen mit einem metallografischen Mikroskop (500-fache Vergrößerung).

Korngröße: Abweichung $< 0,02 \mu\text{m}$, berechnet mit der Querschnittsmethode (> 100 Körner pro Sichtfeld).

Oberflächenebenheit: Abweichung $< 0,01 \text{ mm}$, ermittelt mit einem Oberflächenprofilmessgerät.

Gleichmäßigkeit der Co-Verteilung: Abweichung $< 0,5 \%$, ermittelt durch energiedispersive Spektroskopie (EDS).

Mechanische Proben:

Maßabweichung: $< 0,05 \text{ mm}$, gemessen mit einem Messschieber.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Oberflächenrauheit: $Ra < 0,1 \mu m$.

Keine Mikrorisse: Länge $< 0,05 mm$, erkennbar mit dem Mikroskop (200-fache Vergrößerung).

Proben für die chemische Analyse:

Partikelgröße: $< 0,5 mm$, gemessen mit einem Laser-Partikelgrößenmessgerät (Abweichung $< 0,02 \mu m$) .

Keine Verschmutzung: Gehalt an Fe, Al und anderen Verunreinigungen $< 0,01 \%$, festgestellt durch Spektralanalyse.

7 Prüfung und Verifizierung

7.1 Mikrostrukturprüfung

Methoden: Untersuchen Sie die Probenstruktur mit einem optischen Mikroskop (Vergrößerung 100-1000 \times) oder einem Rasterelektronenmikroskop (REM, Auflösung $< 1 nm$).

Testinhalt:

Korngröße: Bereich $0,2-2 \mu m$, Abweichung $< 0,02 \mu m$ (gemäß GB/T 18376-2008).

Porosität: $\leq 1 \%$, Porentyp A $< 0,02 mm$ (gemäß GB/T 2597-2008).

Freier Kohlenstoff: Defekte Typ C $< 0,5 \%$ (gemäß ISO 4505:1978).

Co-Verteilung: Abweichung $< 0,5 \%$, ermittelt durch energiedispersive Spektroskopie (EDS).

7.2 Prüfung der mechanischen Eigenschaften

Härte: Gemäß GB/T 7997-2008 verwenden Sie einen Vickers-Härteprüfer (Last 10–30 kg, Eindringzeit 10–15 Sekunden), die Prüfwertabweichung beträgt $< 2 \%$.

Bruchzähigkeit (K_{Ic}) : Gemäß GB/T 5248-2008, unter Verwendung der Single Edge Notched Beam-Methode (SENB), Probengröße $40 mm \times 5 mm \times 5 mm$, Abweichung $< 0,3 MPa \cdot m^{1/2}$.

Biegefestigkeit: Gemäß GB/T 5248-2008, unter Verwendung der Dreipunktbiegemethode, Probengröße $40 mm \times 5 mm \times 5 mm$, Belastungsrate $0,5 mm/min$, Abweichung $< 5 \%$.

7.3 Analyse der chemischen Zusammensetzung

Methode: Verwenden Sie gemäß GB/T 5248-2008 die optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) oder die chemische Titration.

Testinhalt:

WC-Gehalt: Abweichung $< 0,1\%$.

Co-Gehalt: Abweichung $< 0,05\%$.

Additive (wie VC, TaC) : Abweichung $< 0,02 \%$.

Verunreinigungen (Fe, Al usw.): Gehalt $< 0,01 \%$.

7.4 Verifizierungsaufzeichnungen

Notieren Sie die Probennummer, das Testdatum, das Testgerätemodell und den Bediener.

Die Testergebnisse werden mit den Standardwerten verglichen und Proben mit Abweichungen außerhalb des Bereichs müssen erneut beprobt und vorbereitet werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

8 Probenlagerung

8.1 Lagerbedingungen

Die Proben wurden in versiegelte Plastiktüten oder Vakuumbehälter gegeben und vor Licht geschützt gelagert.

Umgebungstemperatur: 15–25 °C, Luftfeuchtigkeit <50 %, Oxidation vermeiden (O₂-Gehalt <0,5 ppm).

Vermeiden Sie den Kontakt mit sauren oder alkalischen Substanzen (pH 6-8).

8.2 Dauer der Haltbarkeit

Prüfmuster: 6 Monate gelagert.

Schiedsproben: 12 Monate gespeichert.

Proben für Langzeitforschung: 24 Monate gelagert, Oberflächenzustand muss regelmäßig (alle 6 Monate) überprüft werden.

8.3 Aufbewahrung von Aufzeichnungen

Notieren Sie die Probennummer, das Konservierungsdatum, die Lagerbedingungen und die verantwortliche Person.

Wenn die Lagerumgebung anormal ist (z. B. Luftfeuchtigkeit > 60 %), muss die Probe erneut vorbereitet werden.

9 Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Empfohlene Parameter für Probenahmegeräte

Diamantsägeblatt: Durchmesser 150 mm, Dicke 1 mm, Drehzahl 3000 U/min, Kühlmitteldurchfluss 5 L/min.

Hartmetallbohrer: Durchmesser 3 mm, Härte HV 1800, Bohrdrehzahl 80 U/min.

Ultraschallreinigungsgerät: Leistung 120 W, Frequenz 40 kHz, Reinigungszeit 10 Minuten.

A.2 Häufige Probleme und Lösungen bei der Probenvorbereitung

Problem 1: Abnormales Kornwachstum (> 2 µm) .

Lösung: Reduzieren Sie die Wärmebehandlungstemperatur (< 600 °C) oder verkürzen Sie die Haltezeit (< 1 Stunde). Erhöhen Sie den Korninhibitor (z. B. VC 0,2–0,5 %) .

Problem 2: Die Porosität überschreitet den Standard (> 1 %) .

Lösung: Erhöhen Sie den Formdruck (> 200 MPa); optimieren Sie das Sintervakuum (< 10⁻² Pa); verlängern Sie die Sinterzeit (2–3 Stunden).

Problem 3: Co-Seigerung (Co-Poolgröße > 5 µm) .

Lösung : Sintertemperaturgradient kontrollieren (Abweichung < ±5°C/cm); Abkühlrate reduzieren (3-5°C/min).

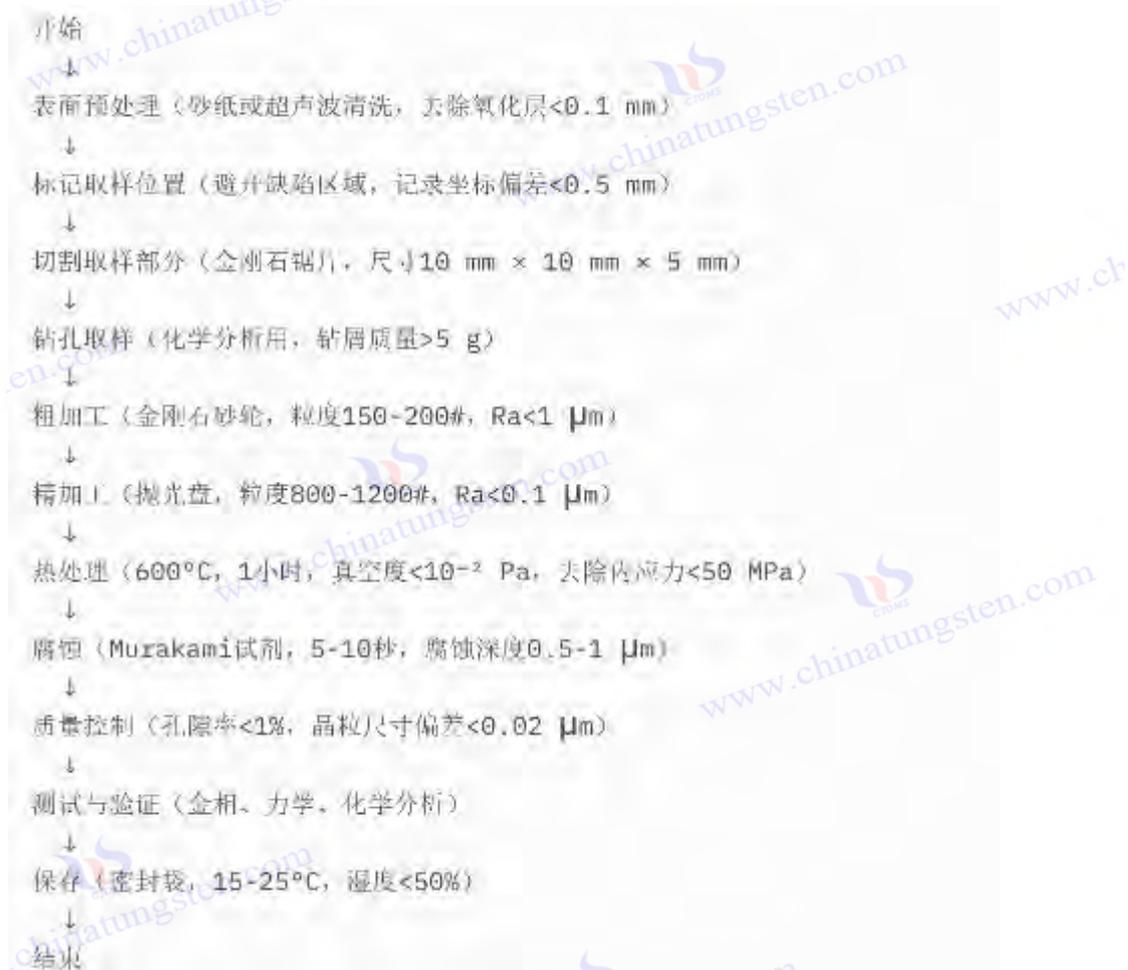
Problem 4: Die Oberflächenrauheit entspricht nicht dem Standard (Ra > 0,1 µm) .

Lösung: Erhöhen Sie die Polierzeit (10–15 Minuten); verwenden Sie eine feinkörnigere Polierflüssigkeit (Partikelgröße < 1 µm) .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10 Anhang B (Normativer Anhang)

B.1 Flussdiagramm zur Probenahme und Probenvorbereitung



B.2 Beispiel für die Verteilung der Stichprobenpunkte

Zylindrischer Rohling: 3–5 Probenahmepunkte sind gleichmäßig entlang der Axialrichtung verteilt und decken die Oberseite, die Mitte und die Unterseite ab.

Werkzeugprodukte: Zu den Probenahmepunkten gehören Schneide (Bereich mit hoher Härte), Klemmteil (Bereich mit hoher Zähigkeit) und geometrische Mitte.

Sonderformteile: Die Probenahmepunkte decken die wichtigsten spannungstragenden Bereiche (Spannungskonzentrationskoeffizient $K_t > 1,5$) und geometrischen Merkmalsbereiche ab.

11 Anhang C (Informativer Anhang)

C.1 Empfehlungen zur Kontrolle der Probenvorbereitungsumgebung

Temperaturregelung: $15-25^\circ\text{C}$, Abweichung $\leq \pm 2^\circ\text{C}$, unter Verwendung von Geräten zur konstanten Temperatur.

Feuchtigkeitskontrolle: $< 50\%$, Luftentfeuchter verwenden (Feuchtigkeitsabweichung $< 5\%$).

Sauberkeit: Luftstaubkonzentration $< 10^3 \text{ Partikel/m}^3$, Luftreiniger verwenden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

C.2 Empfehlungen zur Wartung von Probenvorbereitungsgeräten

Diamantsägeblatt: Nach jeweils 100 Schnitten auf Verschleiß prüfen (Dickenabnahme <0,1 mm) und ggf. austauschen.

Polierpad: Nach jeweils 50 Anwendungen reinigen (deionisiertes Wasser, 40 kHz, 5 Minuten), um Partikelansammlungen zu vermeiden.

Vakuumofen: Überprüfen Sie monatlich den Vakuumgrad ($<10^{-2}$ Pa) und stellen Sie die Dichtheit sicher (Leckrate $<10^{-3}$ Pa·L/s).

Anhang:

GB/T 1997-2008

Hartmetall der Begriff

Vorwort

Diese Norm wurde gemäß den Bestimmungen des Normungsgesetzes der Volksrepublik China formuliert. Sie ist eine Überarbeitung der ursprünglichen Hartmetall-Terminologie GB/T 1997-1998. Sie orientiert sich an der internationalen Norm ISO 3252:2019 „Pulvermetallurgie – Vokabular“ und berücksichtigt die Entwicklungsanforderungen der Hartmetallindustrie. Sie ergänzt neue Begriffe wie „Gradientenstruktur-Hartmetall“ und „Ultrafeinkörniges Hartmetall“, verbessert die Definitionen in Bezug auf Mikrostruktur und Leistung und hält die Übereinstimmung mit dem internationalen Terminologiesystem aufrecht.

Diese Norm wird vom Verband der chinesischen Maschinenindustrie vorgeschlagen und verwaltet. Die Vereinigung der chinesischen Hartmetallindustrie ist für die Auslegung dieser Norm verantwortlich. Zu den Erarbeitungsstellen dieser Norm gehören: Institut für Metallforschung, Chinesische Akademie der Wissenschaften, Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Beijing University of Science and Technology und Chengdu Tool Research Institute.

Die Hauptverfasser dieser Norm sind:

Dieser Standard tritt am 1. Dezember 2008 in Kraft und der ursprüngliche GB/T 1997-1998 wird gleichzeitig abgeschafft.

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt die gebräuchlichen Begriffe und Definitionen im Bereich Hartmetall (hauptsächlich WC-Co-Hartmetall und dessen Verbundwerkstoffe) fest und behandelt Zusammensetzung, Mikrostruktur, Herstellungsverfahren, Leistung, Prüfverfahren und Anwendung von Hartmetall. Diese Norm gilt für die Herstellung, Prüfung, Forschung, Lehre und den technischen Austausch von Hartmetall.

Diese Norm gilt nicht für die Terminologie von Verbundwerkstoffen, die nicht auf WC-Co basieren (wie Cermets) oder Hartmetallbeschichtungen (wie TiN, CrN).

2 Normative Verweisungen

Die Bestimmungen der folgenden Dokumente werden durch Verweis in dieser Norm zu Bestimmungen dieser Norm. Bei allen referenzierten Dokumenten mit Datum sind alle nachfolgenden Änderungen (ausgenommen Errata) oder Überarbeitungen auf diese Norm nicht anwendbar. Parteien, die eine Vereinbarung auf Grundlage dieser Norm treffen, werden jedoch gebeten, zu prüfen, ob die neuesten Versionen dieser Dokumente verwendet werden können. Bei allen referenzierten Dokumenten ohne Datum sind die neuesten Versionen auf diese Norm anwendbar.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 2007.1-1987 Allgemeine Regeln für die Probenahme und Probenvorbereitung von Schüttmineralien

GB/T 2597-2008 Prüfverfahren für die Porosität von Hartmetall

GB/T 3489-2008 Verfahren zur Bestimmung der Mikrostruktur von Hartmetall

GB/T 5248-2008 Chemische Analysemethoden für Hartmetall

GB/T 5313-2008 Prüfverfahren für die metallografische Struktur von Hartmetall

ISO 3252:2019 Pulvermetallurgie – Vokabular

3 Begriffe und Definitionen

Die folgenden Begriffe und Definitionen sind nach der logischen Klassifizierung des Hartmetallbereichs geordnet und in die Kategorien Grundbegriffe, Zusammensetzung und Struktur, Herstellungsverfahren, Leistung und Prüfung, anwendungsbezogen und andere unterteilt.

3.1 Grundlegende Terminologie

3.1.1 Hartlegierung ist ein Verbundwerkstoff

aus hochschmelzenden Metallkarbiden (wie WC, TiC, TaC) als Hartphase und Metalle (wie Co, Ni, Fe) als Bindephase durch Pulvermetallurgie. Es weist eine hohe Härte, hohe Verschleißfestigkeit und eine gewisse Zähigkeit auf.

3.1.2 Pulvermetallurgie

ist ein Verfahren zur Herstellung von Metallen oder Verbundwerkstoffen durch Prozesse wie Pulverauffbereitung, Mischen, Formen, Sintern und Nachbearbeitung.

3.1.3 WC-Co-Hartlegierung ist eine Hartlegierung

mit Wolframkarbid (WC) als Haupthartphase und Kobalt (Co) als Bindephase. Sie wird häufig in Schneidwerkzeugen, Bergbauwerkzeugen und verschleißfesten Teilen verwendet.

3.2 Zusammensetzung und Struktur

3.2.1 Hartphase

Die Komponente, die dem Hartmetall hohe Härte und Verschleißfestigkeit verleiht, ist üblicherweise Hartmetall (wie WC, TiC, TaC) und der Volumenanteil beträgt im Allgemeinen >70 %.

3.2.2 Bindephase:

Die Metallkomponente, die für Zähigkeit sorgt und die harte Phase im Hartmetall bindet, normalerweise Co, Ni oder Fe, mit einem Volumenanteil von 5 % – 30 %.

3.2.3 Korngröße

Die durchschnittliche Korngröße der Hartphase (üblicherweise WC) in Hartmetall in μm , üblicherweise gemessen mit der Querschnittsmethode oder der linearen Achsenabschnittsmethode.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Der typische Bereich liegt zwischen 0,2 und 5 μm .

3.2.4 Ultrafeinkörnige Hartlegierung: Hartmetall

mit einer Korngröße von weniger als 0,5 μm , hat eine höhere Härte ($\text{HV} > 1800$) und Festigkeit (Biegefestigkeit $> 4000 \text{ MPa}$).

3.2.5 Hartlegierung mit Gradientenstruktur:

Ein Material, bei dem die Zusammensetzung (z. B. Co-Gehalt) oder Mikrostruktur (z. B. Korngröße) des Hartmetalls eine Gradientenänderung entlang einer bestimmten Richtung (z. B. von der Oberfläche nach innen) aufweist, wodurch die Gesamtleistung hinsichtlich Härte und Zähigkeit optimiert wird.

3.2.6 Porosität

Der Volumenanteil der Poren in Hartmetall, ausgedrückt in Prozent (%), üblicherweise gemessen durch metallografische Mikroskopie oder Dichtemethode. Er wird unterteilt in Typ A (Porendurchmesser $< 10 \mu\text{m}$), Typ B (10-25 μm) und Typ C (freier Kohlenstoff).

3.2.7 Freier Kohlenstoff:

Kohlenstoff in Hartmetall, der keine Carbide mit Metallen bildet und in Form der C-Phase vorliegt. Er ist üblicherweise unter einem metallografischen Mikroskop erkennbar und hat einen Gehalt von $< 0,5 \%$.

3.2.8 Co-Segregation

Die ungleichmäßige Verteilung der Co-Phase in der Mikrostruktur des Hartmetalls kann zur Bildung von Co-Pools (Größe $> 5 \mu\text{m}$) führen, die die Leistung beeinträchtigen.

3.2.9 Zusatzstoff:

Eine kleine Menge einer Substanz (wie VC, Cr_3C_2 , TaC) wird Hartmetall zugesetzt, um das Kornwachstum zu hemmen oder die Leistung zu verbessern. Der Gehalt liegt im Allgemeinen bei $< 1 \%$.

3.3 Vorbereitungsprozess

3.3.1 Mischpulver

Bei der Hartmetallherstellung wird das Pulver durch Mischen von Hartphasenpulver (z. B. WC), Bindephasenpulver (z. B. Co) und Additiven in einem bestimmten Verhältnis hergestellt.

3.3.2 Kugelmahlen

Der Prozess des Mischens, Verfeinerns und Aktivierens von Hartmetall-Rohmaterialpulver durch Kugelmahlen, normalerweise unter Verwendung von Hartmetallkugeln (Verhältnis Kugel zu Pulver 5:1–10:1) und einer Rotationsgeschwindigkeit von 200–500 U/min.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.3.3 Pressen ist

ein Verfahren, bei dem das gemischte Pulver durch eine Form zu einem Grünkörper gepresst wird. Dabei wird üblicherweise kaltisostatisches Pressen (CIP, Druck 200–300 MPa) oder uniaxiales Pressen (Druck 50–100 MPa) verwendet.

3.3.4 Sintern ist

ein Verfahren, bei dem der Hartmetallrohling auf hohe Temperaturen (üblicherweise 1350–1500 °C) erhitzt wird, um ihn zu verdichten. Man unterscheidet Festphasensintern und Flüssigphasensintern.

3.3.5 Flüssigphasensintern:

Ein Sinterprozess, der oberhalb des Schmelzpunkts der Bindephase (z. B. Co) (ca. 1320 °C) durchgeführt wird. Nach dem Schmelzen benetzt das Co die WC-Partikel und fördert die Verdichtung.

3.3.6 Wärmebehandlung

Eine anschließende Wärmebehandlung des Hartmetalls, wie etwa Glühen (550–650 °C) oder Abschrecken, dient der Anpassung der Mikrostruktur oder dem Abbau innerer Spannungen (<50 MPa).

3.3.7 Oberflächenmodifizierung:

Der Prozess der Verbesserung der Oberflächeneigenschaften von Hartmetall durch Aufkohlen, Ionenimplantation oder Beschichtung (wie TiN, CrN).

3.4 Leistung und Tests

3.4.1 Härte

Die Widerstandsfähigkeit von Hartmetall gegenüber plastischer Verformung wird üblicherweise in der Vickershärte (HV) ausgedrückt, wobei der typische Wert 1200–2000 HV beträgt.

3.4.2 Bruchzähigkeit Die Fähigkeit

von Hartmetall, der Rissausbreitung zu widerstehen, wird durch K_{Ic} ausgedrückt, mit der Einheit $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ und einem typischen Wert von 8-16 $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$.

3.4.3 Querbruchfestigkeit (TRS)

Der maximale Widerstand von Hartmetall in einem Dreipunktbiegeversuch, ausgedrückt in MPa, mit einem typischen Wert von 2000–4000 MPa.

3.4.4 Verschleißfestigkeit Die Fähigkeit von Hartmetall, Verschleiß zu widerstehen, wird üblicherweise

anhand der Verschleißrate ($\text{mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$) gemessen, mit einem typischen Wert von $<0,1 \text{ mm}^3/\text{N} \cdot \text{m}$.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.4.5 Thermoschockbeständigkeit

Die Fähigkeit von Hartmetall, nach schneller Abkühlung (z. B. Wasserkühlung) bei hohen Temperaturen ($> 800\text{ °C}$) einer Rissbildung zu widerstehen, wird normalerweise anhand der Anzahl der Thermoschocks ($> 10^3$ Mal) bewertet.

3.4.6 Metallografische Analyse:

Beobachten Sie die Mikrostruktur von Hartmetall unter einem Mikroskop, um Korngröße, Porosität, Phasenverteilung usw. zu analysieren.

3.4.7 Hall-Petch-Beziehung

描述硬质合金强度或硬度与晶粒尺寸关系的理论: $\sigma_y = \sigma_0 + kd^{-1/2}$, 其中 σ_y 为屈服强度, σ_0 为单晶强度, k 为常数, d 为晶粒尺寸.

3.5 Anwendungsbezogen

3.5.1 Schneidwerkzeug:

Ein Werkzeug aus Hartmetall zum Metallschneiden, wie Drehwerkzeuge, Fräser und Bohrer, mit einer Härte von im Allgemeinen >1500 HV.

3.5.2 Bergbauwerkzeuge:

Werkzeuge aus Hartmetall für den Bergbau oder zum Bohren, wie z. B. Gesteinsbohrer und Kohlengrubenpickel. Die Bruchzähigkeit liegt im Allgemeinen bei $>12\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$.

3.5.3 Verschleißfestes Teil

Teile aus Hartmetall für verschleißfeste Anwendungen wie Formen, Düsen und Dichtungen mit einer Verschleißfestigkeit von $<0,1\text{ mm}^3/\text{N}\cdot\text{m}$.

3.5.4 Werkzeuge für die Luft- und Raumfahrt

In der Luft- und Raumfahrt eingesetzte Schneidwerkzeuge aus Hartmetall müssen eine hohe Härte ($\text{HV} > 1700$) und Temperaturwechselbeständigkeit ($> 800\text{ °C}$) aufweisen.

3.5.5 Tiefseebohrer

Hartmetallbohrer, die in Tiefseeumgebungen (Druck $> 80\text{ MPa}$, Aufprall $> 500\text{ Hz}$) verwendet werden, erfordern eine hohe Zähigkeit ($K_{1c} > 14\text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$).

4. Stichwortverzeichnis

Zum leichteren Auffinden sind die wichtigsten Begriffe im Folgenden alphabetisch geordnet:

Co-Segregation: 3.2.8

Hall-Petch-Beziehung: 3.4.7

Härte: 3.4.1

Hartlegierung: 3.1.1

Korngröße: 3.2.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Querbruchfestigkeit (TRS): 3.4.3
Porosität: 3.2.6
Hartlegierung mit Gradientenstruktur: 3.2.5
Verschleißfestigkeit: 3.4.4
Sintern: 3.3.4
Zusatzstoff: 3.2.9
Flüssigphasensintern: 3.3.5
Freier Kohlenstoff: 3,2,7

5 Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Hinweise zur Terminologieverwendung

Körnung

Bei der Messung der Korngröße sollte die Messmethode (z. B. Querschnittsmethode oder lineare Achsenabschnittsmethode) klar definiert sein und die Anzahl der Körner im Sichtfeld (> 100) sollte aufgezeichnet werden, um die statistische Genauigkeit sicherzustellen.

Porosität

Die Klassifizierung von Poren vom Typ A, Typ B und Typ C sollte sich auf GB/T 2597-2008 beziehen und auf die Unterscheidung zwischen freiem Kohlenstoff und Poren achten.

Hartmetall mit Gradientenstruktur

Bei der Beschreibung der Gradientenstruktur sollten die Gradientenrichtung (z. B. Oberfläche nach innen) und Parameteränderungen (z. B. Co-Gehalt von 4 % auf 12 %) klar angegeben werden.

A.2 Häufige Missverständnisse und Klarstellungen

Je höher die Härte, desto besser die Leistung des Hartmetalls. Klarstellung:

Eine hohe Härte (z. B. $HV > 1800$) kann zu einer verringerten Zähigkeit ($K_{1c} < 8 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) führen, und Härte und Zähigkeit müssen je nach Anwendungsszenario (z. B. Schneiden oder Bergbau) ausgewogen sein.

Missverständnis 2: Je höher der Co-Gehalt, desto besser die Zähigkeit.

Klarstellung: Ein zu hoher Co-Gehalt ($>15\%$) führt zu einer verringerten Härte ($HV < 1200$) und einer schlechten Verschleißfestigkeit, was umfassend berücksichtigt werden muss.

6 Anhang B (Informativer Anhang)

B.1 Terminologie-Entsprechungstabelle (Chinesisch und Englisch)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Chinesische Terminologie	Englische Begriffe	Artikelnummer
Hartmetall	Hartlegierung	3.1.1
Körnung	Körnung	3.2.3
Porosität	Porosität	3.2.6
Hartmetall mit Gradientenstruktur	Hartlegierung mit Gradientenstruktur	3.2.5
Flüssigphasensintern	Flüssigphasensintern	3.3.5
Härte	Härte	3.4.1
Bruchzähigkeit	Bruchzähigkeit	3.4.2
Verschleißfestigkeit	Verschleißfestigkeit	3.4.4

Dies ist der Inhalt der GB/T 1997-2008 Hartmetall-Terminologie, die auf der Grundlage der Praktiken und relevanten Normen der Hartmetallindustrie erstellt wurde. Dieses Dokument behandelt die Kernterminologie im Hartmetallbereich und ist in fünf Kategorien unterteilt: Grundbegriffe, Zusammensetzung und Struktur, Herstellungsprozess, Leistung und Prüfung sowie Anwendungsbezogenes.

Anhang:

ISO 3252:2019
Pulvermetallurgie
Vokabular
(Pulvermetallurgie - Vokabular)

Vorwort

Diese Internationale Norm, ISO 3252:2019, wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 119, Pulvermetallurgie, Unterkomitee SC 1, Terminologie und Klassifikation, erarbeitet. Diese vierte Ausgabe ersetzt die dritte Ausgabe (ISO 3252:1999), die technisch überarbeitet wurde, um den Fortschritten in der Pulvermetallurgie-Technologie Rechnung zu tragen, einschließlich der Einführung neuer Verfahren (z. B. additive Fertigung in der Pulvermetallurgie) und aktualisierter Definitionen bestehender Begriffe. Die Überarbeitung orientiert sich zudem an den neuesten Branchenpraktiken und berücksichtigt das Feedback globaler Stakeholder.

Diese Internationale Norm ISO 3252:2019 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 119 (Pulvermetallurgie), Unterkomitee SC 1 (Terminologie und Klassifikation), erarbeitet. Diese vierte Ausgabe ersetzt die dritte Ausgabe (ISO 3252:1999) und wurde technisch überarbeitet, um die Entwicklung der Pulvermetallurgietechnologie zu berücksichtigen. Dazu gehören die Einführung neuer Verfahren (wie z. B. additive Fertigung in der Pulvermetallurgie) und aktualisierte Definitionen bestehender Begriffe. Die Überarbeitung orientiert sich zudem an den neuesten Branchenpraktiken und berücksichtigt das Feedback globaler Stakeholder.

ISO 3252:2019 bietet ein umfassendes Vokabular für die Pulvermetallurgie, anwendbar auf die Herstellung von Metallpulvern und daraus hergestellten Gegenständen, mit oder ohne nichtmetallische Zusätze, durch Formgebungs- und Sinterprozesse. Diese Norm richtet sich an Hersteller, Forscher, Ingenieure und Lehrende im Bereich der Pulvermetallurgie.

ISO 3252:2019 bietet ein umfassendes Vokabular für die Pulvermetallurgie, anwendbar auf die Herstellung von Metallpulvern durch Kompaktierungs- und Sinterprozesse sowie auf daraus hergestellte Artikel (mit oder ohne nichtmetallische Zusätze). Diese Norm richtet sich an Hersteller, Forscher, Ingenieure und Lehrkräfte im Bereich der Pulvermetallurgie.

Inhaltsverzeichnis

1 Geltungsbereich

2 Normative Referenzen (2 Normative Referenzen)

3 Begriffe und Definitionen

4 Alphabetisches Verzeichnis

Anhang A (Informativ)

Anhang B (Informativ)

1 Geltungsbereich

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

Diese Internationale Norm definiert Begriffe im Zusammenhang mit der Pulvermetallurgie. Die Pulvermetallurgie ist der Zweig der Metallurgie, der die Herstellung metallischer Pulver sowie die Fertigung von Gegenständen aus diesen Pulvern – entweder allein oder unter Zugabe nichtmetallischer Pulver – durch Verfahren wie Formen, Sintern und gegebenenfalls Nachbearbeitungstechniken (z. B. Wärmebehandlung, spanende Bearbeitung) umfasst.

Dieser Standard umfasst Begriffe im Zusammenhang mit:

Pulverherstellung und -charakterisierung.

Verdichtungs- und Formgebungsprozesse.

Sintern und Verdichten.

Eigenschaften und Prüfung von pulvermetallurgischen Produkten.

Anwendungen und zugehörige Technologien.

Diese Norm behandelt Begriffe im Zusammenhang mit:

Pulverherstellung und -charakterisierung.

Verdichtungs- und Umformungsprozesse.

Sintern und Verdichten.

Eigenschaften und Prüfung von pulvermetallurgischen Produkten.

Anwendungen und zugehörige Technologien.,

Keramik) oder Beschichtungstechnologien, sofern sie nicht direkt mit Pulvermetallurgieprozessen zusammenhängen.

2 Normative Referenzen (2 Normative Referenzen)

Auf die folgenden Dokumente wird im Text verwiesen, sodass ihr Inhalt ganz oder teilweise Anforderungen dieses Dokuments darstellt. Bei datierten

Verweisungen gilt ausschließlich die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die jeweils neueste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 3923-1:2018, Metallpulver – Bestimmung der Schüttdichte – Teil 1: Trichterverfahren

ISO 3927:2017, Metallpulver – Bestimmung der Kompressibilität bei einachsiger Kompression

ISO 4490:2018, Metallpulver – Bestimmung der Partikelgrößenverteilung

ISO 5755:2012, Sintermetallwerkstoffe – Spezifikationen

ISO 3923-1:2018, „Metallpulver – Bestimmung der Schüttdichte – Teil 1: Trichterverfahren“

ISO 3927:2017, Metallpulver – Bestimmung der Kompressibilität unter einachsiger Kompression

ISO 4490:2018, Metallpulver – Bestimmung der Partikelgrößenverteilung

ISO 5755:2012, Sintermetallwerkstoffe – Spezifikationen

3 Begriffe und Definitionen

Die Begriffe und Definitionen sind in logische Kategorien gruppiert, um das Verständnis und die Anwendung im Bereich der Pulvermetallurgie zu erleichtern .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.1 Allgemeine Bestimmungen

3.1.1 Pulvermetallurgie (PM)

Pulvermetallurgie (PM) ist der Zweig der Metallurgie, der sich mit der Herstellung von Metallpulvern und der Fertigung von Artikeln aus diesen Pulvern, mit oder ohne nichtmetallische Zusätze, durch Prozesse wie Formen und Sintern befasst.

3.1.2 Metallpulver

Eine Ansammlung einzelner Metallpartikel, typischerweise in einem Größenbereich von 1 μm bis 500 μm , die durch Zerstäubung, Reduktion oder andere Methoden hergestellt und als Rohmaterial in der Pulvermetallurgie verwendet werden.

3.1.3 Sintern

Ein

Wärmebehandlungsprozess, der bei einer Temperatur unterhalb des Schmelzpunkts des Hauptbestandteils durchgeführt wird und dazu dient, Pulverpartikel zu einer zusammenhängenden festen Masse zu verbinden, wobei häufig Diffusion und Verdichtung stattfinden.

3.2 Pulverherstellung und -charakterisierung

3.2.1 Zerstäubung

Ein Verfahren zur Herstellung von Metallpulvern durch Zerkleinern eines geschmolzenen Metallstroms in feine Tröpfchen unter Verwendung eines Hochdruckgases oder einer Hochdruckflüssigkeit, die zu Partikeln erstarren.

3.2.2 Scheinbare Dichte

Die Masse eines Pulvers geteilt durch das Volumen, das es in losem, unverdichtetem Zustand einnimmt, üblicherweise gemessen in g/cm^3 , und spiegelt die Packungseffizienz des Pulvers wider.

3.2.3 Partikelgrößenverteilung

Der

Bereich und die Häufigkeit der Partikelgrößen innerhalb einer Pulverprobe, normalerweise ausgedrückt als Prozentsatz der Partikel innerhalb bestimmter Größenintervalle (z. B. D10, D50, D90).

3.2.4 Fließgeschwindigkeit Die Zeit, die eine bestimmte Pulvermasse benötigt, um durch einen standardisierten Trichter

zu fließen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

, gemessen in Sekunden pro 50 g, gibt die Fließfähigkeit des Pulvers an.

3.3 Verdichtung und Formgebung

3.3.1 Verdichtung

Der Vorgang

, bei dem auf eine Pulvermasse Druck ausgeübt wird, um einen zusammenhängenden Grünling zu formen. Normalerweise wird dazu uniaxiales Pressen oder kaltisostatisches Pressen (CIP) verwendet.

3.3.2 Grünling

Ein geformter, aber ungesinterter Körper, der durch Verdichten von Metallpulver hergestellt wird. Es verfügt über eine ausreichende Festigkeit für die Handhabung, muss jedoch gesintert werden, um die endgültigen Eigenschaften zu erzielen.

3.3.3 Kaltisostatisches Pressen (CIP)

Ein Verdichtungsverfahren,

bei dem ein flüssiges Medium verwendet wird, um aus allen Richtungen gleichmäßigen Druck auf eine mit Pulver gefüllte flexible Form auszuüben, typischerweise bei Drücken von 100–300 MPa.

3.4 Sintern und Verdichten

3.4.1 Flüssigphasensintern

Ein Sinterprozess, bei dem sich eine flüssige Phase bildet (zB

aus einem Bindemittel wie Kobalt) bei der Sintertemperatur, wodurch die Verdichtung und Bindung der festen Partikel verbessert wird.

3.4.2 Verdichtung

Die Verringerung der Porosität und Erhöhung der Dichte eines Pulverpresslings während des Sinterns, normalerweise gemessen als Prozentsatz der theoretischen Dichte (z. B. 90–99 %).

3.4.3 Sinterdichte

Die

Dichte eines Materials nach dem Sintern, ausgedrückt als Prozentsatz der theoretischen Dichte des vollständig dichten Materials, normalerweise 85–99 %.

3.5 Eigenschaften und Prüfung

3.5.1

Härte Der Widerstand eines gesinterten Materials gegen plastische Verformung, normalerweise gemessen mit den Härteskalen Vickers (HV) oder Rockwell (HR).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.5.2 Biegebruchfestigkeit (TRS)

Die maximale Spannung, der ein gesintertes Teststück in einem Dreipunkt-Biegeversuch standhalten kann, ausgedrückt in MPa, gibt die mechanische Festigkeit des Materials an.

3.5.3 Porosität

Der Volumenanteil der Hohlräume in einem Sinterkörper, ausgedrückt als Prozentsatz, der die mechanischen Eigenschaften beeinflusst und in Typen eingeteilt wird (z . B. A, B, C für Hartmetalle) .

3.6 Anwendungen und verwandte Technologien

3.6.1 Hartmetall

Ein pulvermetallurgisches Produkt, das typischerweise aus Wolframkarbid (WC) und einem metallischen Bindemittel (z . B. Kobalt) besteht und für Schneidwerkzeuge und verschleißfeste Teile verwendet wird.

3.6.2 Metallspritzguss (MIM) Ein pulvermetallurgisches Verfahren

, bei dem Metallpulver mit einem Bindemittel zu einem Ausgangsmaterial kombiniert werden , das spritzgegossen und anschließend gesintert wird, um komplexe Formen zu erzeugen.

3.6.3 Additive Fertigung (AM) in PM

Ein pulverbasierter additiver Fertigungsprozess wie selektives Lasersintern (SLS) oder Binder Jetting, bei dem Metallpulver geschichtet und verschmolzen werden, um dreidimensionale Objekte zu erzeugen.

4 Alphabetisches Verzeichnis

Additive Fertigung (AM) in PM: 3.6.3

Scheinbare Dichte: 3.2.2

Zerstäubung: 3.2.1

Kaltisostatisches Pressen (CIP): 3.3.3

Verdichtung: 3.3.1

Verdichtung: 3.4.2

Durchflussrate: 3.2.4

Grüner Pakt: 3.3.2

Hartmetall : 3.6.1

Härte: 3.5.1

Flüssigphasensintern: 3.4.1

Metallspritzguss (MIM): 3.6.2

Partikelgrößenverteilung: 3.2.3

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Porosität: 3.5.3
Pulvermetallurgie (PM): 3.1.1
Metallpulver: 3.1.2
Sinterdichte: 3,4,3
Sintern: 3.1.3
Querbruchfestigkeit (TRS): 3.5.2
Additive Fertigung (AM) in der Pulvermetallurgie: 3.6.3
Scheinbare Dichte: 3,2,2
Zerstäubung: 3.2.1
Kaltisostatisches Pressen (CIP): 3.3.3
Verdichtung: 3.3.1
Verdichtung: 3.4.2
Umsatzrate: 3,2,4
Grün: 3,3,2
Hartmetall: 3.6.1
Härte: 3.5.1
Flüssigphasensintern: 3.4.1
Metallspritzguss (MIM): 3.6.2
Partikelgrößenverteilung: 3.2.3
Porosität: 3.5.3
Pulvermetallurgie (PM): 3.1.1
Metallpulver: 3.1.2
Sinterdichte: 3,4,3
Sintern: 3.1.3
Querbruchfestigkeit (TRS): 3.5.2

Anhang A (Informativ)

A.1 Hinweise zu Terminologieaktualisierungen

Die Überarbeitung von 2019 führt Begriffe im Zusammenhang mit der additiven Fertigung ein (z. B. 3.6.3), um der zunehmenden Integration von AM-Technologien in die Pulvermetallurgie Rechnung zu tragen.

Mit der Überarbeitung von 2019 wurde eine Terminologie im Zusammenhang mit der additiven Fertigung eingeführt (z. B. 3.6.3), um der zunehmenden Integration von AM-Technologien in die Pulvermetallurgie Rechnung zu tragen.

Die Definitionen für Sintern (3.1.3) und Flüssigphasensintern (3.4.1) wurden verfeinert, um moderne Prozessvarianten wie das Mikrowellensintern einzubeziehen.

Die Definitionen des Sinterns (3.1.3) und des Flüssigphasensinterns (3.4.1) wurden verfeinert, um moderne Prozessvarianten wie das Mikrowellensintern einzubeziehen.

Der Begriff „Hartmetall“ (3.6.1) schließt nun explizit auch Verbundhartmetalle mit mehreren Karbidphasen ein (zB WC -TiC -TaC) .

Der Begriff „Hartmetall“ (3.6.1) schließt nun ausdrücklich auch Verbundhartmetalle ein, die mehr als eine Karbidphase enthalten (z. B. WC- TiC- TaC) .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A.2 Bewerbungsrichtlinien

Partikelgrößenverteilung (3.2.3): Sollte mit standardisierten Methoden (z. B. ISO 4490) gemessen werden, um die Konsistenz zwischen den Laboren sicherzustellen.

Partikelgrößenverteilung (3.2.3): Sollte mit einer standardisierten Methode (z. B. ISO 4490) gemessen werden, um die Konsistenz zwischen den Laboren sicherzustellen.

Porosität (3.5.3): Die Einteilung in die Typen A, B und C ist spezifisch für Hartmetalle und sollte für eine detaillierte Analyse mit ISO 4505 abgeglichen werden.

Porosität (3.5.3): Die Klassifizierungen der Typen A, B und C sind spezifisch für Hartmetalle und sollten unter Bezugnahme auf ISO 4505 detailliert analysiert werden.

Anhang B (Informativ)

B.1 Querverweis zur vorherigen Ausgabe

Die Begriffe aus ISO 3252:1999 wurden mit geringfügigen Aktualisierungen beibehalten: „Sintern“ (3.1.3), „Härte“ (3.5.1).

Die Begriffe aus ISO 3252:1999 wurden beibehalten und leicht aktualisiert: „Sintern“ (3.1.3), „Härte“ (3.5.1).

Neu hinzugefügte Begriffe: „Additive Fertigung im PM“ (3.6.3), „Metal Injection Moulding (MIM)“ (3.6.2).

Neue Begriffe wurden hinzugefügt: „Additive Fertigung in der Pulvermetallurgie“ (3.6.3), „Metal Injection Moulding (MIM)“ (3.6.2).

Entfernte Begriffe: Veraltete Begriffe im Zusammenhang mit manuellen Pulverherstellungsverfahren (z. B. „Hammermahlen“), da sie nicht mehr aktuell sind.

Entfernte Begriffe: Veraltete Begriffe im Zusammenhang mit manuellen Pulverherstellungsverfahren (z. B. „Hammermühle“) wurden aufgrund mangelnder aktueller Relevanz entfernt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

GB/T 2597-2008
Hartmetall
Porositätstestmethode

Vorwort

Diese Norm legt das Prüfverfahren für die Porosität von Hartmetall fest und zielt darauf ab, eine einheitliche technische Spezifikation für die Porositätsprüfung von Hartmetall (hauptsächlich WC-Co-Hartmetall) bereitzustellen. Diese Norm gilt für die Porositätsbestimmung in der Hartmetallproduktion, der Qualitätskontrolle, der Forschung und der Anwendung.

Diese Norm bezieht sich auf die internationalen Normen ISO 4505:1978 „Metallografische Untersuchung von Hartmetall“ und ASTM B276 „Prüfverfahren zur Bestimmung der scheinbaren Porosität von Hartmetall“ und wurde entsprechend den aktuellen Anforderungen der heimischen Hartmetallindustrie überarbeitet. Diese Norm ersetzt die bisherigen einschlägigen Normen.

Diese Norm wurde von der China Machinery Industry Federation vorgeschlagen und von der China Cemented Carbide Industry Association verwaltet. Zu den Erarbeitungsstellen dieser Norm gehören: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences und Chengdu Tool Research Institute.

Die Hauptverfasser dieser Norm sind:

Dieser Standard tritt am 1. Dezember 2008 in Kraft.

Inhaltsverzeichnis

1 Geltungsbereich

2 Normative Verweisungen

3 Begriffe und Definitionen

4 Prüfmethode

5 Prüfbericht

Anhang A (Informativer Anhang) Porositätsgradtabelle

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Prüfverfahren für die Porosität von Hartmetall fest. Die Porosität in Hartmetall wird durch metallografische Mikroskopbeobachtung bestimmt. Sie gilt für Hartmetall mit Wolframkarbid (WC) als Hauptbestandteil und metallischem Bindemittel (z. B. Kobalt).

Mit dieser Methode wird hauptsächlich die scheinbare Porosität in Hartmetall bestimmt, einschließlich Poren, freiem Kohlenstoff und nichtmetallischen Einschlüssen. Diese Norm gilt für die Qualitätskontrolle, Leistungsbewertung und Forschung von Hartmetallprodukten.

Diese Norm ist nicht auf die Bestimmung der Porosität von Hartmetallbeschichtungen oder Hartmetallen auf Nicht-WC-Basis (wie Cermets) anwendbar.

2 Normative Verweisungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Die Abschnitte der folgenden Dokumente werden durch Verweis in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm. Für jedes referenzierte Dokument mit Datum gilt ausschließlich die referenzierte Version. Für jedes referenzierte Dokument ohne Datum gilt die jeweils neueste Version (einschließlich aller Änderungen) dieser Norm.

GB/T 3489-2008 Verfahren zur Bestimmung der Mikrostruktur von Hartmetall

GB/T 3849-2008 Bestimmung der Porosität von Hartmetall

GB/T 5313-2008 Prüfverfahren für die metallografische Struktur von Hartmetall

GB/T 1997-2008 Hartmetall-Terminologie

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Porosität

Der Volumenanteil der Poren in Hartmetall, ausgedrückt als Prozentsatz (%), wird normalerweise durch Beobachtung der polierten Oberfläche unter einem metallografischen Mikroskop bestimmt.

3.2 Scheinbare Porosität

Die Summe der Poren, des freien Kohlenstoffs und der nichtmetallischen Einschlüsse, die mit einem metallografischen Mikroskop auf der polierten, aber ungeätzten Oberfläche von Hartmetall beobachtet wurden.

3.3 Poren

Die durch Gas, Schrumpfung oder andere Ursachen entstandenen Hohlräume im Hartmetall werden in Typ A (Durchmesser $<10 \mu\text{m}$) und

Typ B ($10\text{--}25 \mu\text{m}$ Durchmesser) .

3.4 Freier Kohlenstoff

Der Kohlenstoff in Hartmetall, der mit Metall keine Carbide bildet, liegt in Form der C-Phase vor, die normalerweise unter einem metallografischen Mikroskop beobachtet und als C-Typ gekennzeichnet wird.

3.5 Nichtmetallische Einschlüsse

Nichtmetallische Substanzen im Hartmetall, wie Oxide oder Sulfide, die aus Rohstoffen oder Prozessen stammen, liegen normalerweise in Form von Punkten oder Streifen vor.

3.6 Porositätsgrad

Die Porosität wird je nach Anzahl und Verteilung der Poren, des freien Kohlenstoffs und der nichtmetallischen Einschlüsse in verschiedene Grade (wie A00, A02, C04 usw.) unterteilt.

4 Prüfmethoden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1 Grundsatz

Die Poren, der freie Kohlenstoff und die nichtmetallischen Einschlüsse auf der polierten Oberfläche des Hartmetalls wurden unter einem metallografischen Mikroskop beobachtet und der Porositätsgrad wurde anhand ihrer Menge und Verteilung gemäß dem Standardatlas bewertet.

4.2 Instrumente und Ausrüstung

Metallographisches Mikroskop: Vergrößerung 100x bis 500x, ausgestattet mit Okularen und Objektiven, mit guter Auflösung ($<1 \mu\text{m}$).

der Polierscheibe beträgt 200–300 U/min und das Poliermittel ist Diamantpaste (Partikelgröße 1–3 μm).

Reinigungsgerät: Ultraschallreinigungsgerät, das Ethanol oder Aceton als Reinigungsmittel verwendet.

Standard-Porositätsgradtabelle: Die in Anhang A bereitgestellte Tabelle dient zur vergleichenden Bewertung.

4.3 Probenvorbereitung

4.3.1 Um die Repräsentativität der Proben sicherzustellen, sollten die Proben aus Hartmetallprodukten entnommen werden. Die Größe beträgt im Allgemeinen $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$.

4.3.2 Schneiden Sie die Probe mit einer Diamantschneideklinge und einer Schnittgeschwindigkeit von $<100 \text{ mm/min}$, um Risse oder thermische Schäden zu vermeiden.

4.3.3 Die Oberfläche der Probe wird nacheinander mit Schleifpapier (Körnung 400, 800, 1200) poliert und anschließend mit Diamantpaste poliert, bis keine sichtbaren Kratzer mehr auf der Oberfläche vorhanden sind (Rauigkeit $R_a < 0,1 \mu\text{m}$).

4.3.4 Reinigen Sie die Probe mit einem Ultraschallreiniger (Reinigungsdauer 5 Min.), um Oberflächenschmutz und Poliermittelrückstände zu entfernen, und wischen Sie sie mit einem staubfreien Tuch trocken.

4.4 Prüfschritte

4.4.1 Legen Sie die Probe unter ein metallografisches Mikroskop, stellen Sie die Lichtquelle auf gleichmäßige Beleuchtung ein und wählen Sie eine 200-fache Vergrößerung (oder stellen Sie sie je nach Bedarf auf das 100- bis 500-fache ein).

4.4.2 Wählen Sie zufällig fünf Sichtfelder (jedes Sichtfeld hat eine Fläche von ungefähr $0,1 \text{ mm}^2$) auf der Oberfläche der Probe aus und beobachten Sie die Verteilung von Poren, freiem Kohlenstoff und nichtmetallischen Einschlüssen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.3 Vergleichen Sie mit der Standard-Porositätsgradtabelle in Anhang A und bewerten Sie den Porositätsgrad (Typ A, Typ B, Typ C) jedes Sichtfelds.

4.4.4 Notieren Sie den Porositätsgrad jedes Sichtfelds und berechnen Sie den Durchschnittswert der fünf Sichtfelder als endgültigen Porositätsgrad.

4.4.5 Wenn der Gehalt an freiem Kohlenstoff (Typ C) signifikant ist (z. B. über CO₄), müssen seine Verteilungseigenschaften (z. B. konzentriert oder dispergiert) aufgezeichnet werden.

4.5 Hinweise

Die Probenoberfläche sollte nicht geätzt werden, um die wahre Morphologie der Poren oder des freien Kohlenstoffs nicht zu verdecken.

Vermeiden Sie die Beobachtung der Randbereiche der Probe, da diese durch Schneiden oder Polieren beeinträchtigt werden können.

Die Lichtquelle des Mikroskops sollte gleichmäßig sein, um Fehleinschätzungen durch ungleichmäßiges Licht zu vermeiden.

Wenn der Porositätsgrad zwischen verschiedenen Sichtfeldern (wie A00 und A06) stark variiert, sollte die Anzahl der Beobachtungsfelder (auf 10) erhöht werden, um die Genauigkeit zu verbessern.

5 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

Probennummer und Quelle (z. B. Materialmarke, Produktionscharge).

Datum der Prüfung und Prüfperson.

Versuchsbedingungen: Mikroskopvergrößerung, Anzahl der Sichtfelder.

Testergebnisse: Porositätsgrad (Typ A, Typ B, Typ C), einschließlich der Bewertungsergebnisse und Durchschnittswerte für jedes Sichtfeld.

Freie Kohlenstoffverteilungseigenschaften (falls vorhanden).

Beschreibung von anormalen Zuständen (wie etwa Oberflächendefekte der Probe, Schwierigkeiten bei der Beurteilung usw.).

Unterschrift der Prüfstelle und des Prüfverantwortlichen.

Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Porositätsgraddiagramm

Nachfolgend finden Sie eine Referenztablette mit Porositätsgraden zur Beurteilung der Porosität vom Typ A, Typ B und Typ C.

Poren vom Typ A (Durchmesser < 10 µm) :

A00: Keine sichtbaren Poren.

A02: Die Anzahl der Poren beträgt weniger als 5 pro Sichtfeld und die Porenfläche beträgt weniger als 0,02 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

A04: Die Anzahl der Poren beträgt 5–10/Sichtfeld und die Porenfläche beträgt 0,02 %–0,05 %.

A06: Die Anzahl der Poren beträgt 10–20 pro Sichtfeld und die Porenfläche beträgt 0,05–0,1 %.

A08: Anzahl der Poren > 20/Sichtfeld, Porenflächenverhältnis > 0,1 %.

Poren vom Typ B (Durchmesser 10-25 μ m) :

B00: Keine sichtbaren Poren.

B02: Die Anzahl der Poren beträgt weniger als 3 pro Sichtfeld und die Porenfläche beträgt weniger als 0,01 %.

B04: Die Anzahl der Poren beträgt 3–5 pro Sichtfeld und die Porenfläche beträgt 0,01–0,03 %.

B06: Die Anzahl der Poren beträgt 5–10/Sichtfeld und die Porenfläche beträgt 0,03 %–0,05 %.

B08: Anzahl der Poren > 10/Sichtfeld, Porenflächenverhältnis > 0,05 %.

C-Typ-freier Kohlenstoff:

C00: Kein sichtbarer freier Kohlenstoff.

C02: Der freie Kohlenstoffanteil beträgt <0,02 % und ist gleichmäßig verteilt.

C04: Der freie Kohlenstoffbereich beträgt 0,02 %–0,05 %, was lokal konzentriert ist.

C06: Der freie Kohlenstoffbereich beträgt 0,05 %–0,1 % und ist konzentriert verteilt.

C08: Der freie Kohlenstoffanteil beträgt >0,1%, großflächig verteilt.

A.2 Gebrauchsanweisung

Der Porositätsgrad sollte anhand des nächstgelegenen Standardatlas beurteilt werden.

Wenn die Probe sowohl Poren vom Typ A als auch vom Typ B aufweist, sollten diese separat ausgewertet und aufgezeichnet werden.

Bei der Bewertung von freiem Kohlenstoff (Typ C) sollte auf dessen Verteilungseigenschaften geachtet werden, da diese Einfluss auf die Materialeigenschaften (wie etwa eine verringerte Verschleißfestigkeit) haben können.

Dies ist der vollständige chinesische Inhalt der GB/T 2597-2008 Prüfmethode für die Porosität von Hartmetall. Er deckt alle notwendigen Teile der Norm ab, einschließlich Umfang, Terminologie, Prüfmethoden und Anhänge, um die Vollständigkeit und Praktikabilität des Inhalts zu gewährleisten. Sollten weitere Anpassungen oder Ergänzungen erforderlich sein, geben Sie bitte genauere Informationen an.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

GB/T 3489-2008

Hartmetall

Methode zur Bestimmung der Mikrostruktur

Vorwort

Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung der Hartmetall-Mikrostruktur fest und zielt darauf ab, eine einheitliche technische Spezifikation für die Mikrostrukturanalyse von Hartmetall (hauptsächlich WC-Co-Hartmetall) bereitzustellen. Diese Norm gilt für die Bestimmung der Mikrostruktur in der Hartmetallproduktion, Qualitätskontrolle, Forschung und Anwendung.

Diese Norm bezieht sich auf die internationale Norm ISO 4497:1983 „Metallografische Untersuchung von Hartmetall“ und wurde entsprechend den aktuellen Anforderungen der heimischen Hartmetallindustrie überarbeitet. Diese Norm ersetzt die bisherigen einschlägigen Normen.

Diese Norm wurde von der China Machinery Industry Federation vorgeschlagen und von der China Cemented Carbide Industry Association verwaltet. Zu den Erarbeitungsstellen dieser Norm gehören: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences und Chengdu Tool Research Institute.

Die Hauptverfasser dieser Norm sind:

Dieser Standard tritt am 1. Dezember 2008 in Kraft.

Inhaltsverzeichnis

1 Geltungsbereich

2 Normative Verweisungen

3 Begriffe und Definitionen

4 Prüfmethode

5 Prüfbericht

Anhang A (Informativer Anhang) Diagramm der Mikrostruktureigenschaften

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung der Mikrostruktur von Hartmetall fest. Dabei werden Korngröße, Phasenverteilung, Porosität und weitere mikrostrukturelle Eigenschaften des Hartmetalls mittels metallografischer Mikroskopie analysiert. Sie gilt für Hartmetall mit Wolframkarbid (WC) als Hauptbestandteil und metallischem Bindemittel (z. B. Kobalt).

Mit dieser Methode werden hauptsächlich die folgenden mikrostrukturellen Eigenschaften von Hartmetall bestimmt: WC-Korngröße, Kobaltphasenverteilung, Porosität, freier Kohlenstoff, nichtmetallische Einschlüsse und abnormale Strukturen (wie die η -Phase). Diese Norm gilt für die Qualitätskontrolle, Leistungsbewertung und Forschung von Hartmetallprodukten.

Diese Norm ist nicht anwendbar auf die Bestimmung der Mikrostruktur von

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Hartmetallbeschichtungen oder Hartmetallen auf Nicht-WC-Basis (wie Cermets).

2 Normative Verweisungen

Die Abschnitte der folgenden Dokumente werden durch Verweis in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm. Für jedes referenzierte Dokument mit Datum gilt ausschließlich die referenzierte Version. Für jedes referenzierte Dokument ohne Datum gilt die jeweils neueste Version (einschließlich aller Änderungen) dieser Norm.

GB/T 2597-2008 Prüfverfahren für die Porosität von Hartmetall

GB/T 3849-2008 Bestimmung der Porosität von Hartmetall

GB/T 5313-2008 Prüfverfahren für die metallografische Struktur von Hartmetall

GB/T 1997-2008 Hartmetall-Terminologie

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Mikrostruktur

Die unter einem metallografischen Mikroskop beobachtete Mikrostruktur von Hartmetall umfasst die Verteilung und Morphologie der Hartphase (WC), der Bindephase (Co), der Poren, des freien Kohlenstoffs und der nichtmetallischen Einschlüsse.

3.2 Korngröße

Die durchschnittliche Partikelgröße von WC-Körnern in Hartmetall wird in Mikrometern (μm) gemessen, üblicherweise mit der Querschnittsmethode oder der linearen Achsenabschnittsmethode.

3.3 Binderphase

Die Metallkomponente, die für Zähigkeit sorgt und die harte Phase im Hartmetall bindet, ist üblicherweise Kobalt (Co), und seine Verteilungseigenschaften beeinflussen die Materialeigenschaften.

3.4 Porosität

Der Volumenanteil der Poren in Hartmetall, ausgedrückt in Prozent (%), wird in Typ A (Durchmesser $< 10 \mu\text{m}$), Typ B (Durchmesser $10\text{-}25 \mu\text{m}$) und Typ C (freier Kohlenstoff) unterteilt.

3.5 Freier Kohlenstoff

Der Kohlenstoff in Hartmetall, der mit Metall keine Carbide bildet, liegt in Form der C-Phase vor und wird normalerweise durch ein metallografisches Mikroskop beobachtet.

3.6 Nichtmetallische Einschlüsse

Nichtmetallische Substanzen im Hartmetall, wie Oxide oder Sulfide, die aus Rohstoffen oder Prozessen stammen, liegen normalerweise in Form von Punkten oder Streifen vor.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.7 Eta-Phase

$\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$) entstehen aufgrund eines unzureichenden Kohlenstoffgehalts im Hartmetall und erscheinen normalerweise als dunkle Dreiecke oder unregelmäßige Formen, was die Materialeigenschaften beeinträchtigt .

4 Prüfmethoden

4.1 Grundsatz

Die polierte und geätzte Oberfläche von Hartmetall wird unter einem metallografischen Mikroskop untersucht, um die WC-Korngröße, die Kobaltphasenverteilung , die Porosität, den freien Kohlenstoff, nichtmetallische Einschlüsse und abnormale Strukturen (wie die η -Phase) zu analysieren, und die mikrostrukturellen Eigenschaften werden gemäß Standardkarten oder Berechnungsmethoden ausgewertet.

4.2 Instrumente und Ausrüstung

Metallographisches Mikroskop: Vergrößerung 100x bis 1000x, ausgestattet mit Okularen und Objektiven, mit guter Auflösung ($< 0,5 \mu\text{m}$) .

Poliergerät: Wird zum Polieren der Probenoberfläche verwendet. Die Geschwindigkeit der Polierscheibe beträgt 200–300 U/min und das Poliermittel ist eine Diamantpaste (Partikelgröße 1–3 μm) .

Ätzgerät: Verwenden Sie Murakami-Reagenz (10 % KOH + 10 % $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ -Wasserlösung) oder eine 5 %ige Salzsäure-Salpetersäure-Mischung.

Reinigungsgerät: Ultraschallreinigungsgerät, das Ethanol oder Aceton als Reinigungsmittel verwendet.

Standard-Mikrostruktur-Kennliniendiagramm: gemäß dem Diagramm in Anhang A, wird zur vergleichenden Bewertung verwendet.

4.3 Probenvorbereitung

4.3.1 Um die Repräsentativität der Proben sicherzustellen, müssen die Proben aus Hartmetallprodukten entnommen werden. Die Größe beträgt im Allgemeinen $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$.

4.3.2 Schneiden Sie die Probe mit einer Diamantschneideklinge und einer Schnittgeschwindigkeit von $< 100 \text{ mm/min}$, um Risse oder thermische Schäden zu vermeiden.

4.3.3 Die Oberfläche der Probe wird nacheinander mit Schleifpapier (Körnung 400, 800, 1200) poliert und anschließend mit Diamantpaste poliert, bis keine sichtbaren Kratzer mehr auf der Oberfläche vorhanden sind (Rauigkeit $\text{Ra} < 0,1 \mu\text{m}$) .

4.3.4 Reinigen Sie die Probe mit einem Ultraschallreiniger (Reinigungszeit 5 Minuten), um Oberflächenschmutz und Poliermittelrückstände zu entfernen, und wischen Sie sie mit einem

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

staubfreien Tuch trocken.

4.3.5 Ätzen Sie die Probenoberfläche mit Murakami-Reagenz (Ätzzeit 10–20 s), um die WC-Korn- und Kobaltphasengrenzen sichtbar zu machen, spülen Sie sie anschließend mit destilliertem Wasser ab und trocknen Sie sie.

4.4 Prüfschritte

4.4.1 Porositätsbestimmung

4.4.1.1 Verwenden Sie auf der ungeätzten polierten Oberfläche ein metallografisches Mikroskop (200-fache Vergrößerung), um die Poren, den freien Kohlenstoff und die nichtmetallischen Einschlüsse zu beobachten.

4.4.1.2 Wählen Sie nach dem Zufallsprinzip 5 Sichtfelder aus (jedes Sichtfeld hat eine Fläche von ungefähr $0,1 \text{ mm}^2$) und bewerten Sie den Porositätsgrad (Typ A, Typ B, Typ C) gemäß GB/T 2597-2008.

4.4.1.3 Notieren Sie den Porositätsgrad und die Eigenschaften der freien Kohlenstoffverteilung jedes Sichtfelds.

4.4.2 Korngrößenbestimmung

4.4.2.1 Beobachten Sie die WC-Körner auf der geätzten Probenoberfläche mit einem metallografischen Mikroskop (500-fache Vergrößerung).

4.4.2.2 Wählen Sie nach dem Zufallsprinzip drei Sichtfelder aus und verwenden Sie die Methode des linearen Achsenabschnitts, um die Korngröße zu bestimmen:

μm lang) innerhalb des Sichtfeldes .

Die Anzahl der Schnittpunkte (N) jeder Geraden mit der WC-Korngrenze wurde aufgezeichnet.

计算平均截距长度 L $\frac{\text{总直线长度}}{\text{相交点数}}$

4.4.2.3 Berechnen Sie die durchschnittliche Korngröße der drei Sichtfelder in μm .

4.4.3 Bestimmung der Kobaltphasenverteilung

Beobachten Sie die Kobaltphasenverteilung auf der geätzten Probenoberfläche mit einem metallografischen Mikroskop (200-fache Vergrößerung) .

4.4.3.2 Wählen Sie zufällig 5 Sichtfelder aus, um zu beobachten, ob die Kobaltphase gleichmäßig verteilt ist und ob Kobaltpools (Größe $> 5 \mu\text{m}$) vorhanden sind.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.3.3 Notieren Sie die Eigenschaften der Kobaltphasenverteilung (gleichmäßig, lokale Entmischung, Kobaltpools).

4.4.4 Abnorme Gewebeuntersuchung

4.4.4.1 η -Phase prüfen: Die η -Phase erscheint normalerweise als dunkle Dreiecke oder unregelmäßige Formen und wird oft in Proben mit unzureichendem Kohlenstoffgehalt gefunden.

4.4.4.2 Nichtmetallische Einschlüsse prüfen: Form (Punkte, Streifen) und Verteilung erfassen.

4.4.4.3 Wenn abnormales Gewebe gefunden wird, sollten mikroskopische Fotos gemacht und der Flächenanteil (%) aufgezeichnet werden.

4.5 Hinweise

Die Ätzzeit muss streng kontrolliert werden. Eine zu lange Ätzzeit kann zu unscharfen Korngrenzen führen, während eine zu kurze Ätzzeit die Struktur möglicherweise nicht sichtbar macht.

Achten Sie bei der Beobachtung der Korngröße darauf, dass die Anzahl der Körner im Sichtfeld >100 ist, um die statistische Genauigkeit zu verbessern.

Bei der Bewertung der Kobaltphasenverteilung sollte darauf geachtet werden, zwischen Kobaltpools und Poren zu unterscheiden, um Fehleinschätzungen zu vermeiden.

Wenn die Probe eine abnormale Struktur aufweist (z. B. η -Phasenverhältnis $> 1\%$), sollte die Ursache analysiert werden (z. B. unzureichender Kohlenstoffgehalt, zu hohe Sintertemperatur).

5 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

Probennummer und Quelle (z. B. Materialmarke, Produktionscharge).

Datum der Prüfung und Prüfperson.

Testbedingungen: Mikroskopvergrößerung, Anzahl der Sichtfelder, Ätzmittel und Ätzzeit.

Testergebnisse:

Porositätsgrad (Typ A, Typ B, Typ C).

WC-Korngröße (Durchschnittswert und Spannweite, in μm).

Eigenschaften der Kobaltphasenverteilung.

Beschreibung und Anteil abnormaler Strukturen (wie η -Phase und nichtmetallische Einschlüsse).

Mikrofotografien (sofern verfügbar).

Beschreibung von anomalen Zuständen (wie etwa Oberflächendefekte der Probe, Schwierigkeiten bei der Beurteilung usw.).

Unterschrift der Prüfstelle und des Prüfverantwortlichen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Mikrostrukturmerkmale

Nachfolgend finden Sie einen Referenzatlas mikrostruktureller Eigenschaften, der zur Bewertung der Mikrostruktur von Hartmetall verwendet wird.

WC-Korngröße:

Ultrafeinkorn: mittlere Korngröße $<0,5 \mu\text{m}$.

Feinkorn: mittlere Korngröße $0,5-1,0 \mu\text{m}$.

Mesokristallin: durchschnittliche Korngröße $1,0-2,0 \mu\text{m}$.

Grobkorn: mittlere Korngröße $>2,0 \mu\text{m}$.

Kobaltphasenverteilung:

Gleichmäßige Verteilung: keine offensichtliche Entmischung der Kobaltphase und Kobaltpool <1 pro Sichtfeld.

Lokale Segregation: 1–3 Kobaltpools/Sichtfeld, Größe $5-10 \mu\text{m}$.

Starke Entmischung: Kobaltpools >3 /Sichtfeld, Größe $>10 \mu\text{m}$.

η -Phase:

Keine η -Phase: Es gibt keine dunklen Dreiecke oder unregelmäßigen Strukturen im Sichtfeld.

Eine kleine Menge an η -Phase: Flächenverhältnis $<1\%$, verstreute Verteilung.

Hoher Anteil an η -Phase: Flächenanteil $>1\%$, konzentrierte Verteilung.

A.2 Gebrauchsanweisung

Die Korngrößenbestimmung sollte auf der Methode der linearen Achsenabschnitte basieren. Werden andere Methoden (z. B. Bildanalyse) verwendet, müssen diese erläutert werden.

Die Kobaltphasenverteilung erfordert eine umfassende Analyse in Kombination mit Materialeigenschaften (wie Zähigkeit und Verschleißfestigkeit).

Das Vorhandensein einer η -Phase weist normalerweise auf einen unzureichenden Kohlenstoffgehalt hin und es werden weitere Analysen der chemischen Zusammensetzung und der Prozessparameter empfohlen.

Dies ist der vollständige chinesische Inhalt der GB/T 3489-2008 Methode zur Bestimmung der Mikrostruktur von Hartmetall. Er deckt alle notwendigen Teile der Norm ab, einschließlich Umfang, Terminologie, Prüfmethode und Anhänge, um die Vollständigkeit und Praktikabilität des Inhalts zu gewährleisten. Sollten weitere Anpassungen oder Ergänzungen erforderlich sein, geben Sie bitte genauere Informationen an.

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 5248-2008
Hartmetall
Chemische Analysemethoden

Vorwort

Diese Norm legt die chemischen Analysemethoden für Hauptelemente und Verunreinigungselemente in Hartmetall fest und zielt darauf ab, eine einheitliche technische Spezifikation für die Analyse der chemischen Zusammensetzung von Hartmetall (hauptsächlich WC-Co-Hartmetall) bereitzustellen. Diese Norm gilt für die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung bei der Herstellung, Qualitätskontrolle, Forschung und Anwendung von Hartmetall.

Diese Norm bezieht sich auf die internationale Norm ASTM E352 „Chemische Analysemethoden für Werkzeugstahl und andere mittel- und hochlegierte Stähle“ und wurde entsprechend den tatsächlichen Anforderungen der heimischen Hartmetallindustrie überarbeitet. Diese Norm ersetzt die bisherigen relevanten Normen.

Diese Norm wurde von der China Machinery Industry Federation vorgeschlagen und von der China Cemented Carbide Industry Association verwaltet. Zu den Erarbeitungsstellen dieser Norm gehören: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences und Chengdu Tool Research Institute.

Die Hauptverfasser dieser Norm sind:

Dieser Standard tritt am 1. Dezember 2008 in Kraft.

Inhaltsverzeichnis

1 Geltungsbereich

2 Normative Verweisungen

3 Begriffe und Definitionen

4 Allgemeine Anforderungen

5 Analysemethoden

6 Prüfbericht

Anhang A (Informativer Anhang) Anwendungsbereich der Analysemethode

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt die chemischen Analyseverfahren für Wolfram (W), Kobalt (Co), Kohlenstoff (C), Titan (Ti), Tantal (Ta), Niob (Nb) und häufige Verunreinigungselemente (wie Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al, S, P) in Hartmetall fest. Diese Norm gilt für die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung von Hartmetall mit Wolframkarbid (WC) als Hauptbestandteil und metallischem Bindemittel (wie Kobalt).

Diese Methode umfasst die Bestimmung der folgenden Elemente:

Hauptelemente: Wolfram, Kobalt, Gesamtkohlenstoff, freier Kohlenstoff.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nebenelemente: Titan, Tantal, Niob.

Verunreinigungselemente: Eisen, Nickel, Chrom, Molybdän, Silizium, Aluminium, Schwefel, Phosphor.

Diese Norm gilt für die Qualitätskontrolle, Leistungsbewertung und Forschung von Hartmetallprodukten.

2 Normative Verweisungen

Die Abschnitte der folgenden Dokumente werden durch Verweis in dieser Norm zu Abschnitten dieser Norm. Für jedes referenzierte Dokument mit Datum gilt ausschließlich die referenzierte Version. Für jedes referenzierte Dokument ohne Datum gilt die jeweils neueste Version (einschließlich aller Änderungen) dieser Norm.

GB/T 1997-2008 Hartmetall-Terminologie

GB/T 223.5-2008 Chemische Analysemethoden für Stahl und Legierungen - Reduktionsdestillation - Methylenblau-Photometriemethode zur Bestimmung des Schwefelgehalts

GB/T 223.9-2008 Chemische Analysemethoden für Eisen, Stahl und Legierungen - Chrom- Azurolo S-Photometrische Methode zur Bestimmung des Aluminiumgehalts

GB/T 223.11-2008 Chemische Analysemethoden für Eisen, Stahl und Legierungen - Ammoniumsulfat-Ammoniumeisensulfat-Volumenmethode zur Bestimmung des Chromgehalts

GB/T 223.23-2008 Chemische Analysemethoden für Eisen, Stahl und Legierungen - Dimethylglyoxim-spektrophotometrische Methode zur Bestimmung des Nickelgehalts

GB/T 223.59-2008 Chemische Analysemethoden für Eisen, Stahl und Legierungen - Natriumarsenit - Natriumnitrit-Titrationsmethode zur Bestimmung des Phosphorgehalts

GB/T 4698.1-2008 Chemische Analysemethoden für Titanschwamm, Titan und Titanlegierungen Teil 1: Allgemeines

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Hartlegierung

Pulvermetallurgieprodukte mit Wolframkarbid (WC) als Hauptbestandteil und metallischem Bindemittel (wie Kobalt) werden üblicherweise für Schneidwerkzeuge, verschleißfeste Teile usw. verwendet.

3.2 Gesamtkohlenstoff

Der Kohlenstoffgehalt in allen Formen in Hartmetall, einschließlich gebundenem Kohlenstoff (Kohlenstoff in WC) und freiem Kohlenstoff.

3.3 Freier Kohlenstoff

Der Kohlenstoff im Hartmetall, der mit Metall keine Carbide bildet, liegt in Form der C-Phase vor.

3.4 Chemische Analyse

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Der Prozess der Bestimmung des Gehalts jedes Elements in Hartmetall durch chemische oder instrumentelle Methoden.

3.5 Verunreinigungselement

Spurenelemente in Hartmetall, die aus Rohstoffen oder Prozessen stammen, wie Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al, S, P usw.

4 Allgemeine Anforderungen

4.1 Probenanforderungen

4.1.1 Um die Repräsentativität zu gewährleisten, sind die Proben aus Hartmetallerzeugnissen zu entnehmen. Die Masse der Proben beträgt in der Regel 0,5 g bis 2,0 g.

4.1.2 Die Oberfläche der Probe muss frei von Zunder, Öl oder anderen Verunreinigungen sein. Bei Bedarf muss sie mit Sandpapier poliert und mit Ethanol gereinigt werden.

4.1.3 Die Probe sollte auf eine Partikelgröße von weniger als 0,15 mm (100 Maschen) zerkleinert werden, um das Eindringen von Verunreinigungen zu vermeiden.

4.2 Reagenzienanforderungen

4.2.1 Alle Reagenzien müssen analysenrein oder von höherer Reinheit sein und das verwendete Wasser muss destilliertes oder deionisiertes Wasser sein.

4.2.2 Saure Lösungen (wie HCl, HNO₃, HF) sollten in festgelegten Konzentrationen hergestellt werden, um sicherzustellen, dass es nicht zu Störungen durch Verunreinigungen kommt.

4.3 Geräteanforderungen

4.3.1 Analysenwaage: Empfindlichkeit 0,0001 g.

4.3.2 Hochfrequenz-Induktionsofen: wird für die Verbrennungsanalyse von Kohlenstoff und Schwefel verwendet.

4.3.3 Spektralphotometer: dient zur photometrischen Bestimmung des Elementgehalts.

4.3.4 Atomemissionsspektrometer mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-AES): wird zur gleichzeitigen Analyse mehrerer Elemente verwendet.

4.4 Sicherheitsanforderungen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.1 Tragen Sie während des Betriebs eine Schutzbrille und Handschuhe, um Säurespritzer oder das Einatmen schädlicher Gase zu vermeiden.

4.4.2 Achten Sie beim Betrieb eines Hochfrequenz-Induktionsofens auf einen Hochtemperaturschutz, um Verbrennungen zu vermeiden.

5 Analysemethoden

5.1 Bestimmung von Wolfram (W)

5.1.1 Prinzip der Methode

Die Probe wurde mit einer HCl-HNO₃-Mischsäure zersetzt, Wolfram wurde in Form von Wolframsäure ausgefällt und der Wolframgehalt durch Titration von Ammoniumeisen(II)-sulfat bestimmt.

5.1.2 Reagenzien

HCl (1+1).

HNO₃ (1 +1).

Ammoniumeisensulfat-Standardlösung (0,1 mol/l).

Weinsäurelösung (10 %).

5.1.3 Schritte

5.1.3.1 Wiegen Sie 0,5 g der Probe (auf 0,0001 g genau) und geben Sie sie in einen 250-ml-Becher.

5.1.3.2 20 ml HCl (1+1) und 5 ml HNO₃ (1 +1) hinzufügen und erhitzen, bis die Probe vollständig zersetzt ist.

5.1.3.3 5 ml Weinsäurelösung (10 %) hinzufügen, gleichmäßig umrühren und auf Raumtemperatur abkühlen lassen.

5.1.3.4 Mit Standard-Ammoniumeisensulfatlösung bis zum Endpunkt titrieren (die Lösung ändert ihren Farbton von gelb nach farblos).

5.1.3.5 Berechnung des Wolframgehalts:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

$$W(\%) = \frac{(V \times c \times M_W) \times 100}{m \times 1000}$$

式中：

- V ：硫酸亚铁铵标准溶液消耗体积 (mL) ；
- c ：硫酸亚铁铵标准溶液浓度 (mol/L) ；
- M_W ：钨的摩尔质量 (183.84 g/mol) ；
- m ：试样质量 (g) 。

5.2 Bestimmung von Kobalt (Co)

5.2.1 Prinzip der Methode

wurde mit HCl-HNO₃ zersetzt und Kobalt wurde durch Dimethylglyoxim-Spektrophotometrie bestimmt.

5.2.2 Reagenzien

HCl (1+1).

HNO₃ (1 +1).

Dimethylglyoxim-Lösung (1 %) .

Ammoniakwasser (1+1).

5.2.3 Schritte

5.2.3.1 Wiegen Sie 0,5 g der Probe (auf 0,0001 g genau) und geben Sie sie in einen 250-ml-Becher.

5.2.3.2 20 ml HCl (1+1) und 5 ml HNO₃ (1 +1) hinzufügen und bis zur Zersetzung erhitzen.

5.2.3.3 Nach dem Abkühlen 5 ml Dimethylglyoximlösung (1 %) hinzufügen und den pH-Wert mit Ammoniakwasser auf 8–9 einstellen.

5.2.3.4 Messen Sie die Absorption bei einer Wellenlänge von 510 nm auf einem Spektrophotometer.

5.2.3.5 Berechnen Sie den Kobaltgehalt gemäß der Standardkurve.

5.3 Bestimmung des Gesamtkohlenstoffs (C) und des freien Kohlenstoffs (C)

5.3.1 Prinzip der Methode

Der Gesamtkohlenstoff wird durch die Verbrennungsmethode eines Hochfrequenz-Induktionsofens bestimmt, der freie Kohlenstoff wird nach der Trennung durch die Methode der Säurehydrolyse bestimmt und der gebundene Kohlenstoff wird berechnet, indem der freie Kohlenstoff vom Gesamtkohlenstoff abgezogen wird .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3.2 Instrumente

Hochfrequenz-Induktionsofen.

Infrarot-Absorptionsanalysator für Kohlenstoff und Schwefel .

5.3.3 Schritte

Bestimmung des Gesamtkohlenstoffs :

Wiegen Sie 0,2 g der Probe (auf 0,0001 g genau) und legen Sie sie in einen Hochfrequenz-Induktionsofen.

Der Kohlenstoffgehalt des erzeugten CO₂ wird mittels Infrarot-Absorptionsverfahren bestimmt .

5.3.3.2 Bestimmung des freien Kohlenstoffs:

Wiegen Sie 1,0 g der Probe ab, geben Sie diese in ein 250-ml-Becherglas, geben Sie 50 ml HCl (1+1) hinzu und erhitzen Sie, bis der freie Kohlenstoff vollständig abgetrennt ist.

Der Rückstand wird gefiltert, gewaschen und getrocknet und der freie Kohlenstoffgehalt mithilfe eines Hochfrequenz-Induktionsofens bestimmt.

5.3.3.3 Berechnung des gebundenen Kohlenstoffs:

$$C_{\text{结合}} = C_{\text{总}} - C_{\text{游离}}$$

5.4 Bestimmung von Titan (Ti), Tantal (Ta) und Niob (Nb)

5.4.1 Prinzip der Methode

Die Proben wurden mit HCl-HF zersetzt und die Elemente mittels Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-AES) bestimmt.

5.4.2 Schritte

5.4.2.1 Wiegen Sie 0,5 g der Probe ab, geben Sie sie in einen Becher aus Polytetrafluorethylen, geben Sie 10 ml HCl (1+1) und 5 ml HF (40 %) hinzu und erhitzen Sie sie zur Zersetzung.

5.4.2.2 Nach dem Abkühlen auf 100 ml auffüllen .

5.4.2.3 Die Emissionsspektren von Ti, Ta und Nb wurden mittels ICP-AES gemessen. Die Wellenlängen waren:

Ti: 334,941 nm;

Ta: 240,063 nm;

Nb: 316,340 nm.

5.4.2.4 Berechnen Sie den Gehalt jedes Elements gemäß der Standardkurve.

5.5 Bestimmung von Verunreinigungselementen (Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al, S, P)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.5.1 Prinzip der Methode

Verunreinigungselemente wurden mittels ICP-AES bestimmt, Schwefel wurde mittels Hochfrequenz-Induktionsofen-Verbrennungsmethode bestimmt und Phosphor wurde mittels Natriumarsenit - Natriumnitrit-Titrationsmethode bestimmt.

5.5.2 Schritte

5.5.2.1 Bestimmung von Fe, Ni, Cr, Mo, Si und Al:

Wie in Schritt 5.4.2 sind die Wellenlängen:

Fe: 238,204 nm;

Ni: 231,604 nm;

Cr: 267,716 nm;

Mo: 202,030 nm;

Si: 251,611 nm;

Al: 396,152 nm.

5.5.2.2 Bestimmung von Schwefel:

Bestimmen Sie wie in Schritt 5.3.3.1 den Schwefelgehalt mithilfe der Infrarotabsorptionsmethode.

5.5.2.3 Bestimmung von Phosphor:

Bestimmen Sie durch die Natriumarsenit -Natriumnitrit-Titrationsmethode gemäß GB/T 223.59-2008.

6 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

Probennummer und Quelle (z. B. Materialmarke, Produktionscharge).

Datum der Prüfung und Prüfperson.

Testbedingungen: Instrumentenmodell, Analysemethode.

Testergebnisse: Gehalt jedes Elements (%), einschließlich Wolfram, Kobalt, Gesamtkohlenstoff, freier Kohlenstoff, Titan, Tantal, Niob und Verunreinigungselemente.

Beschreibung abnormaler Bedingungen (wie etwa ungleichmäßige Proben, analytische Störungen usw.).

Unterschrift der Prüfstelle und des Prüfverantwortlichen.

Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Anwendungsbereich des Analyseverfahrens

Wolfram (W): 50 % – 95 %, Titrationsmethode mit Ammoniumeisensulfat.

Kobalt (Co): 1 %–30 %, Dimethylglyoxim- Spektrophotometrie.

Gesamtkohlenstoff (C): 4 % – 7 %, Verbrennungsverfahren im Hochfrequenz-Induktionsofen.

Freier Kohlenstoff (C): 0,01 % – 0,5 %, Säurehydrolysemethode.

Titan (Ti), Tantal (Ta), Niob (Nb): 0,1 % – 10 %, ICP-AES-Methode.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verunreinigungselemente (Fe, Ni, Cr, Mo, Si, Al): 0,001 % – 1 %, ICP-AES-Methode.

Schwefel (S): 0,001 % – 0,05 %, Verbrennungsverfahren im Hochfrequenz-Induktionsofen.

Phosphor (P): 0,001 %–0,05 %, Natriumarsenit - Natriumnitrit-Titrationsmethode.

A.2 Hinweise

Aufgrund des Wolframgehalts sollte eine unvollständige Ausfällung der Wolframsäure vermieden werden und bei Bedarf kann eine wiederholte Ausfällung durchgeführt werden.

Kobaltgehalt, die Dimethylglyoxim-Methode kann durch Ni gestört werden und muss vor der Bestimmung getrennt werden.

Bei Messungen mit ICP-AES sollte das Gerät kalibriert werden, um eine Matrixübereinstimmung sicherzustellen.

Dies ist der vollständige chinesische Inhalt von GB/T 5248-2008 „Chemische Analysemethoden für Hartmetall“. Er deckt alle notwendigen Teile der Norm ab, einschließlich Umfang, Terminologie, Analysemethoden und Anhänge, um die Vollständigkeit und Praktikabilität des Inhalts zu gewährleisten. Sollten weitere Anpassungen oder Ergänzungen erforderlich sein, geben Sie bitte genauere Informationen an.

Anhang:

GB/T 5313-2008

Hartmetall

Methode zur metallografischen Strukturprüfung

Vorwort

Diese Norm legt die Prüfmethode für die metallografische Struktur von Hartmetall fest und zielt darauf ab,

Diese Norm ist anwendbar auf die Hartmetallproduktion, Qualitätskontrolle, Metallografische Analyse in Forschung und Anwendung.

Diese Norm bezieht sich auf die internationale Norm ISO 4499-1:2008 „Verfahren zur metallografischen Untersuchung von Hartmetallen, Teil 1: Allgemeine Grundsätze“.

Diese Norm wurde entsprechend den tatsächlichen Anforderungen der heimischen Hartmetallindustrie überarbeitet. Diese Norm ersetzt die vorherigen relevanten Normen.

Dieser Standard wurde von der China Machinery Industry Federation vorgeschlagen und wird von der China Cemented Carbide Industry Association verwaltet.

Zu den Zeichnungseinheiten gehören: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Chengdu Tool Research Institute

Die Hauptverfasser dieser Norm sind:

Dieser Standard tritt am 1. Dezember 2008 in Kraft.

Inhalt

1 Bereich	3
2 Normative Verweisungen	3
3 Begriffe und Definitionen	3
3.1 Metallografische Struktur	3
3.2 WC-Korngröße	3
3.3 Kobalt-Phasenverteilung	3
3.4 Porosität	3
3.5 Freier Kohlenstoff	3
3.6 Nichtmetallische Einschlüsse	4
3.7 Eta-Phase	4
4 Prüfmethoden	4
4.1 Prinzip	...
4.2 Instrumente und Ausrüstung	...
4.3 Vorbereitung der Probekörper	...
4.4 Prüfverfahren	...
4.4.1 Porositätstest	...
4.4.2 WC-Korngrößenprüfung	...
4.4.3 Kobaltphasenverteilungstest	...

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Untersuchung abnormalen Gewebes
4.5 Hinweise
5. Auswertung der Testergebnisse 6
5.1 Beurteilung der Porosität
5.2 Korngrößenbestimmung
5.3 Bewertung der Kobaltphasenverteilung
1
5.4 Beurteilung abnormalen Gewebes
6 Prüfbericht

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Prüfverfahren für die metallografische Struktur von Hartmetall fest. Mikrostrukturelle Eigenschaften, einschließlich WC-Korngröße, Kobaltphasenverteilung, Porosität, freier Kohlenstoff, nichtmetallische Einschlüsse und Anomalien

Diese Norm gilt für Wolframcarbid (WC) als Hauptbestandteil und enthält metallische Bindemittel (wie beispielsweise Kobalt).

Hartmetall.

Diese Methode eignet sich zur Qualitätskontrolle, Leistungsbewertung und metallografischen Strukturprüfung bei der Erforschung von Hartmetallprodukten.

Diese Norm ist nicht anwendbar auf die metallografische Untersuchung von Hartmetallbeschichtungen oder Hartmetallen auf Nicht-WC-Basis (wie Cermets).

2 Normative Verweisungen

Die Abschnitte in den folgenden Dokumenten werden durch Bezugnahme in diesem Standard zu Abschnitten dieses Standards.

Für jedes undatierte Dokument, auf das verwiesen wird, gilt die neueste Ausgabe (einschließlich aller Änderungen).

Dieser Standard.

- GB/T 1997-2008 Hartmetall-Terminologie
- GB/T 2597-2008 Testverfahren für die Porosität von Hartmetall
- GB/T 3489-2008 Methode zur Bestimmung der Mikrostruktur von Hartmetall
- GB/T 5248-2008 Chemische Analysemethoden für Hartmetall

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Metallographische Struktur

Die unter einem metallografischen Mikroskop beobachtete Mikrostruktur von Hartmetall umfasst Hartphase (WC), Bindephe (Co), Poren,

Die Verteilung und Morphologie von freiem Kohlenstoff und nichtmetallischen Einschlüssen.

3.2 WC-Korngröße

Die durchschnittliche Partikelgröße von Wolframcarbid (WC) in Hartmetall wird in Mikrometern

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(μm) gemessen, üblicherweise mit der Methode des linearen Achsenabschnitts oder Bestimmung durch Bildanalyse.

3.3 Kobalt-Phasenverteilung

Die Verteilungszustände der Kobalt(Co)-Bindephase in Hartmetall werden in gleichmäßige Verteilung, lokale Entmischung und Kobaltpool unterteilt.

3.4 Porosität

Der Volumenanteil der Poren in Hartmetall, ausgedrückt als Prozentsatz (%), wird in Typ A (Durchmesser $<10\ \mu\text{m}$), Typ B (10–25 μm Durchmesser) und Typ C (freier Kohlenstoff).

3.5 Freier Kohlenstoff

Der Kohlenstoff in Hartmetall, der mit Metall keine Carbide bildet, liegt in Form der C-Phase vor, normalerweise in Form schwarzer Partikel.

3.6 Nichtmetallische Einschlüsse

Nichtmetallische Substanzen in Hartmetall, wie Oxide oder Sulfide, die aus Rohstoffen oder Prozessen stammen und normalerweise in Form von Punkten oder Streifen vorliegen. Existenz.

3.7 Eta-Phase

CoWC) aufgrund unzureichenden Kohlenstoffgehalts in Hartmetall gebildet werden, sind in der Regel dunkle Dreiecke oder Normale Form.

4 Prüfmethoden

4.1 Grundsatz

Die Oberfläche des Hartmetalls wurde nach dem Polieren und Ätzen mit einem metallografischen Mikroskop untersucht, um die WC-Korngröße, die Kobaltphasenverteilung und die Poren zu analysieren.

Porosität, freier Kohlenstoff, nichtmetallische Einschlüsse und abnormale Strukturen (wie Phasen) und vergleichen Sie sie zur Bewertung mit Standardatlanten.

4.2 Instrumente und Ausrüstung

- Metallurgisches Mikroskop: Vergrößerung 100x bis 1000x, ausgestattet mit Okular und Objektivlinse, mit guter Auflösung ($<0,5\ \mu\text{m}$).
- Poliergerät: Wird zum Polieren der Probenoberfläche verwendet. Die Geschwindigkeit der Polierscheibe beträgt 200-300 U/min. Das Poliermittel ist Diamantpaste (Korn Durchmesser 1-3 μm).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Ätzgerät: Verwenden Sie Murakami-Reagenz (10 % KOH + 10 % K[Fe(CN)] wässrige Lösung) oder 5 % Salzsäure-Salpetersäure-Gemisch.
- Reinigungsgerät: Ultraschallreinigungsgerät, das Ethanol oder Aceton als Reinigungsmittel verwendet.
- Standardmäßiges charakteristisches Diagramm der metallografischen Struktur: Gemäß dem Diagramm in Anhang A wird es zur vergleichenden Bewertung verwendet.

4.3 Probenvorbereitung

4.3.1 Um die Repräsentativität zu gewährleisten, sollten die Proben aus Hartmetallprodukten entnommen werden. Die Größe beträgt in der Regel 10 mm × 10 mm × 5 mm.

4.3.2 Schneiden Sie die Probe mit einer Diamantschneideklinge und einer Schnittgeschwindigkeit von <100 mm/min, um Risse oder thermische Schäden zu vermeiden.

4.3.3 Die Oberfläche der Probe wurde nacheinander mit Schleifpapier (Körnung 400, 800, 1200) poliert und anschließend mit Diamantpaste poliert, bis die Oberfläche keine sichtbaren Kratzer (Rauigkeit Ra < 0,1 µm).

4.3.4 Reinigen Sie die Probe mit einem Ultraschallreiniger (Reinigungsdauer 5 Min.), um Oberflächenschmutz und Poliermittelrückstände zu entfernen.
Mit einem Staubtuch trocken wischen .

4.3.5 Ätzen Sie die Probenoberfläche mit Murakami-Reagenz (Ätzzeit 10-20 s), um WC-Körner und Kobaltphasen freizulegen
Anschließend wurden die Ränder mit destilliertem Wasser abgespült und getrocknet.

4.4 Prüfschritte

4.4.1 Porositätsprüfung

4.4.1.1 Auf der ungeätzten polierten Oberfläche verwenden Sie ein metallografisches Mikroskop (Vergrößerung 200 -fach) , um die Poren, freien Kohlenstoff und nichtmetallische Einschlüsse.

4.4.1.2 Wählen Sie zufällig 5 Sichtfelder aus (jedes Sichtfeld hat eine Fläche von ungefähr 0,1 mm²) und beurteilen Sie die Porosität gemäß GB/T 2597-2008.
Tarifklasse (Typ A, Typ B, Typ C).

4.4.1.3 Notieren Sie den Porositätsgrad und die Eigenschaften der freien Kohlenstoffverteilung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

jedes Sichtfelds.

4.4.2 WC-Korngrößenprüfung

Beobachten Sie die WC-Körner auf der geätzten Probenoberfläche mit einem metallografischen Mikroskop (500- fache Vergrößerung) .

4.4.2.2 Wählen Sie nach dem Zufallsprinzip drei Sichtfelder aus und verwenden Sie die Methode des linearen Achsenabschnitts, um die Korngröße zu bestimmen:

- Zeichnen Sie 10 zufällige gerade Linien (jede ungefähr 100 µm lang) innerhalb des Sichtfelds.
- Notieren Sie die Anzahl der Schnittpunkte (N) jeder Linie mit der WC-Korngrenze.
- Berechnen Sie die durchschnittliche Achsenabschnittslänge $L = \frac{\text{Gesamtlänge der geraden Linie}}{\text{Gesamtzahl der Schnittpunkte}}$.
- Korngröße $d = 1,56 \times L$.

4.4.2.3 Berechnen Sie die durchschnittliche Korngröße der drei Sichtfelder in µm .

4.4.3 Kobalt-Phasenverteilungstest

Beobachten Sie die Kobaltphasenverteilung auf der geätzten Probenoberfläche mit einem metallografischen Mikroskop (200- fache Vergrößerung) .

4.4.3.2 Wählen Sie zufällig 5 Sichtfelder aus, um zu beobachten, ob die Kobaltphase gleichmäßig verteilt ist und ob Kobalt pools (Größe > 5 µm) vorhanden sind.

4.4.3.3 Notieren Sie die Eigenschaften der Kobaltphasenverteilung (gleichmäßig, lokale Entmischung, Kobalt pools).

4.4.4 Abnorme Gewebeuntersuchung

4.4.4.1 Inspektionsphase: Die Phase erscheint normalerweise als dunkle Dreiecke oder unregelmäßige Formen und wird oft in Proben mit unzureichendem Kohlenstoffgehalt gefunden.

4.4.4.2 Nichtmetallische Einschlüsse prüfen: Form (Punkte, Streifen) und Verteilung erfassen.

4.4.4.3 Wenn abnormales Gewebe gefunden wird, sollten mikroskopische Fotos gemacht und der Flächenanteil (%) aufgezeichnet werden.

4.5 Hinweise

- Die Ätzzeit muss streng kontrolliert werden. Eine zu lange Ätzzeit kann zu unscharfen Korngrenzen führen, während eine zu kurze Ätzzeit die Struktur möglicherweise nicht sichtbar macht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Achten Sie bei der Beobachtung der Korngröße darauf, dass die Anzahl der Körner im Sichtfeld >100 ist, um die statistische Genauigkeit zu verbessern.
- Bei der Bewertung der Kobaltphasenverteilung muss darauf geachtet werden, zwischen Kobaltpools und Poren zu unterscheiden, um Fehleinschätzungen zu vermeiden.
- Wenn die Probe eine abnorme Struktur aufweist (z. B. Phasenverhältnis $>1\%$), sollte die Ursache analysiert werden (z. B. unzureichender Kohlenstoffgehalt, Sintern Temperatur zu hoch).

5. Auswertung der Testergebnisse

5.1 Porositätsbewertung

Gemäß GB/T 2597-2008 wird die Porosität in Typ A, Typ B und Typ C unterteilt. Die Bewertungsergebnisse basieren auf 5 Sichtfeldern.

Durchschnittsnote angegeben.

5.2 Korngrößenbestimmung

Die WC-Korngröße wird in folgende Klassen eingeteilt:

- Ultrafeine Körnung: $<0,5 \mu\text{m}$;
- Feinkörnigkeit: $0,5-1,0 \mu\text{m}$;
- Mesograin : $1,0-2,0 \mu\text{m}$;
- Grobkörnig: $>2,0 \mu\text{m}$.

5.3 Bewertung der Kobaltphasenverteilung

Die Kobaltphasenverteilung wird unterteilt in:

- Gleichmäßige Verteilung: keine offensichtliche Entmischung, Kobaltvorrat $< 1/\text{Sichtfeld}$;
- Lokale Segregation: $1-3$ Kobaltpools/Sichtfeld, Größe $5-10 \mu\text{m}$;
- Starke Entmischung: Kobaltvorkommen $>3/\text{Feld}$, Größe $>10 \mu\text{m}$.

5.4 Abnorme Gewebebeurteilung

Der Flächenanteil von Phasen und nichtmetallischen Einschlüssen sollte unter 1% liegen. Übersteigt er 1% , muss er als ungeeignet gekennzeichnet und die Ursache analysiert werden.

6 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

- Probennummer und Quelle (z. B. Materialmarke, Produktionscharge).
- Datum des Tests und wer den Test durchgeführt hat.
- Versuchsbedingungen: Mikroskopvergrößerung, Anzahl der Sichtfelder, Ätzmittel und Ätzzeit.
- Testergebnisse:
 - Porositätsklasse (Typ A, Typ B, Typ C).
 - WC-Korngröße (Mittelwert und Spanne, μm).
 - Eigenschaften der Kobaltphasenverteilung.
 - Beschreibung und Anteil abnormer Strukturen (z. B. Phasen, nichtmetallische Einschlüsse).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Mikrofotografien (sofern verfügbar).
- Beschreibung abnormaler Zustände (wie etwa Oberflächendefekte der Probe, Schwierigkeiten bei der Beurteilung usw.).
- Unterschrift der Prüfstelle und des Prüfverantwortlichen.

Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Metallografische Gefügemerkmale

Nachfolgend finden Sie einen Referenzatlas metallografischer Strukturmerkmale, der zur Bewertung der Mikrostruktur von Hartmetall verwendet wird.

• WC-Korngröße:

- Ultrafeines Korn: mittlere Korngröße $<0,5 \mu\text{m}$.
- Feinkorn: mittlere Korngröße $0,5\text{--}1,0 \mu\text{m}$.
- Mesokristallin : durchschnittliche Korngröße $1,0\text{--}2,0 \mu\text{m}$.
- Grobkorn: mittlere Korngröße $>2,0 \mu\text{m}$.

• Kobaltphasenverteilung :

- Gleichmäßige Verteilung: keine offensichtliche Entmischung der Kobaltphase und Kobaltpool <1 pro Sichtfeld.
- Lokale Segregation: $1\text{--}3$ Kobaltpools/Sichtfeld, Größe $5\text{--}10 \mu\text{m}$.
- Starke Entmischung: Kobaltpools >3 /Sichtfeld, Größe $>10 \mu\text{m}$.

• Gegenseitig:

- Keine Phase: Im Sichtfeld sind keine dunklen Dreiecke oder unregelmäßigen Strukturen zu sehen.
- Nebenphase: Flächenanteil $<1 \%$, verstreute Verteilung.
- Bulkphase: macht $>1 \%$ der Fläche aus und ist konzentriert verteilt.

A.2 Gebrauchsanweisung

- Die Korngrößenbestimmung sollte primär auf der Methode der linearen Achsenabschnitte basieren. Wird eine Bildanalyse verwendet, ist dies anzugeben.
- Die Bewertung der Kobaltphasenverteilung erfordert eine umfassende Analyse in Kombination mit Materialeigenschaften (wie Zähigkeit und Verschleißfestigkeit).
- Das Vorhandensein von Phasen weist normalerweise auf einen unzureichenden Kohlenstoffgehalt hin und es werden weitere Analysen der chemischen Zusammensetzung und der Prozessparameter empfohlen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

GB/T 7997-2008
Hartmetall
Vickers-Härteprüfverfahren

Vorwort

Diese Norm legt das Prüfverfahren für die Vickershärte von Hartmetall fest, das für Hartmetall (hauptsächlich WC-Co-Hartlegierungen) vorgesehen ist.

Diese Norm gilt für die Herstellung, Qualitätskontrolle und Forschung von Hartmetall.

Vickershärtebestimmung in Anwendungen.

Diese Norm bezieht sich auf die internationale Norm ISO 3878:1987 "Vickers-Härteprüfung und Rockwell-Härteprüfung für Hartmetall" und kombiniert inländischen Hartmetallindustrie. Diese Norm ersetzt die vorherigen einschlägigen Normen.

Dieser Standard wurde von der China Machinery Industry Federation vorgeschlagen und wird von der China Cemented Carbide Industry Association verwaltet.

Zu den Zeichnungseinheiten gehören: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Chengdu Tool Research Institute

Ort.

Die Hauptverfasser dieser Norm sind:

Dieser Standard tritt am 1. Dezember 2008 in Kraft.

Inhalt

1 Bereich	2
2 Normative Verweisungen	2
3 Begriffe und Definitionen	2
3.1 Vickershärte	2
3.2 Einrückung	...
3.3 Belastung	...
3.4 Verweilzeit	2
4 Prüfmethode	2
4.1 Grundsatz	...
4.2 Instrumente und Ausrüstung	...
4.3 Vorbereitung der Probekörper	...
4.4 Prüfbedingungen	...
4.5 Prüfverfahren	...
4.6 Hinweise	...
5 Ergebnisberechnung und -darstellung	4
5.1 Härteberechnung	...
5.2 Darstellung der Ergebnisse	...

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6 Prüfbericht 4

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Prüfverfahren für die Vickershärte von Hartmetall fest, das für Hartmetall mit Wolframkarbid (WC) als Hauptbestandteil und mit Hartmetall mit Metallbinder (z. B. Kobalt). Die Prüfmethode umfasst die Probenvorbereitung, die Auswahl der Prüfbedingungen, die Messung des Eindrucks und Berechnung des Härtewertes.

Diese Norm gilt für die Vickers-Härteprüfung in der Qualitätskontrolle, Leistungsbewertung und Forschung von Hartmetallprodukten.

Diese Norm ist nicht auf die Härtebestimmung von Hartmetallbeschichtungen oder Hartmetallen auf Nicht-WC-Basis (wie Cermets) anwendbar.

2 Normative Verweisungen

Die Abschnitte in den folgenden Dokumenten werden durch Bezugnahme in diesem Standard zu Abschnitten dieses Standards.

Für jedes undatierte Dokument, auf das verwiesen wird, gilt die neueste Ausgabe (einschließlich aller Änderungen).

Dieser Standard.

- GB/T 1997-2008 Hartmetall-Terminologie
- GB/T 4340.1-2009 Vickers-Härteprüfung für metallische Werkstoffe Teil 1: Prüfverfahren

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Vickershärte

Der diamantene tetraedrische Pyramideneindringkörper wird in die Probenoberfläche gedrückt und die diagonale Länge des Eindrucks wird unter einer bestimmten Last gemessen, um zu berechnen Der Härtewert wird in HV angegeben.

3.2 Einrückung

Bei der Härteprüfung nach Vickers hinterlässt der Eindringkörper aus Diamant in Form einer viereckigen Pyramide einen quadratischen Eindruck auf der Oberfläche der Probe.

3.3 Belastung

Die auf den Eindringkörper ausgeübte Kraft in Newton (N) wird entsprechend der Härte und Dicke der Probe gewählt.

3.4 Verweilzeit

Die Zeit, die der Eindringkörper die Last nach dem Aufbringen hält, gemessen in Sekunden (s), normalerweise 10–15 Sekunden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4 Prüfmethoden

4.1 Grundsatz

Mit einem Vickers-Härteprüfgerät wird ein viereckiger Diamantpyramiden-Eindringkörper (Scheitelwinkel 136°) unter einer festgelegten Last in die Probenoberfläche gedrückt, um die Härte zu messen.

Aus der diagonalen Länge des Eindrucks wird gemäß der Formel der Härtewert berechnet.

4.2 Instrumente und Ausrüstung

- Vickers-Härteprüfer: gemäß GB/T 4340.1-2009, Lastbereich 1 kgf bis 120 kgf (9,807 N bis 1177 N), bei einer Messgenauigkeit von $0,5 \mu\text{m}$.
- Poliergerät: Wird zum Polieren der Probenoberfläche verwendet, das Poliermittel ist Diamantpaste (Partikelgröße $1-3 \mu\text{m}$).
- Reinigungsgerät: Ultraschallreinigungsgerät, das Ethanol oder Aceton als Reinigungsmittel verwendet.

4.3 Probenvorbereitung

4.3.1 Um die Repräsentativität zu gewährleisten, sollten die Proben aus Hartmetallprodukten entnommen werden. Die Größe beträgt in der Regel $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 5$ mal der Eindringtiefe.

4.3.2 Schneiden Sie die Probe mit einer Diamantschneideklinge und einer Schnittgeschwindigkeit von $<100 \text{ mm/min}$, um Risse oder thermische Schäden zu vermeiden.

4.3.3 Die Oberfläche der Probe wurde nacheinander mit Schleifpapier (Körnung 400, 800, 1200) poliert und anschließend mit Diamantpaste poliert, bis die Oberfläche keine sichtbaren Kratzer (Rauigkeit $R_a < 0,1 \mu\text{m}$).

4.3.4 Reinigen Sie die Probe mit einem Ultraschallreiniger (Reinigungsdauer 5 Min.), um Oberflächenschmutz und Poliermittelrückstände zu entfernen.
Mit einem Staubtuch trocken wischen.

4.4 Prüfbedingungen

4.4.1 Lastauswahl: Wählen Sie die Last entsprechend der Härte und Dicke der Probe aus, siehe Anhang A.

- Feinkörniges Hartmetall (Korngröße $<1 \mu\text{m}$): 5 kgf–10 kgf.
- Mesokristallines Hartmetall (Korngröße $1-2 \mu\text{m}$): 10 kgf–30 kgf.
- Grobkörniges Hartmetall (Korngröße $> 2 \mu\text{m}$): 30 kgf–120 kgf.

4.4.2 Haltezeit: 10–15 Sekunden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.4.3 Testumgebung: Temperatur (23(5) ° C), relative Luftfeuchtigkeit <65 %, Vibrationen und starke Lichtstörungen vermeiden.

4.5 Prüfschritte

4.5.1 Befestigen Sie die vorbereitete Probe auf der Werkbank des Vickers-Härteprüfgeräts.

4.5.2 Wählen Sie eine geeignete Last und Haltezeit und wenden Sie die Last auf die Probenoberfläche an.

4.5.3 Nach dem Entfernen der Last werden die Längen der beiden Diagonalen der Vertiefung (d1 und d2) mit einem Mikroskop gemessen und der Durchschnittswert d ermittelt.

4.5.4 Wiederholen Sie die Prüfung und nehmen Sie mindestens 5 Messungen an der Probe vor, wobei der Abstand zwischen den Messpunkten mindestens das Dreifache der Diagonale des Eindrucks betragen muss.

Vermeiden Sie gegenseitige Beeinflussung.

4.6 Hinweise

- Die Probenoberfläche sollte flach und frei von Rissen, Kratzern oder Verunreinigungen sein, da es sonst zu ungenauen Messungen kommen kann.
- Eine zu hohe Belastung kann zu einer zu tiefen Einkerbung führen, was sich auf die Probenstruktur auswirkt; eine zu geringe Belastung kann zu Messfehlern führen. Passen Sie dies den Probeneigenschaften an.
- Achten Sie beim Messen der diagonalen Länge auf eine klare Einkerbung und vermeiden Sie Störungen durch Lichtreflexe.

5 Ergebnisberechnung und -darstellung

5.1 Härteberechnung

Der Vickershärtewert wird nach folgender Formel berechnet:

$$HV = 1,8544 \times P$$

d 2 , wobei:

- HV: Vickers-Härtewert (Einheit: kgf/mm²) ;
- P: angewandte Last (Einheit: kgf) ;
- d: durchschnittliche diagonale Länge der Vertiefung (Einheit: mm);
- 1,8544: Vickers-Härteprüfkonstante (bezogen auf einen Pyramidenwinkel von 136°).

5.2 Ergebnisse

Der Härtewert wird als HV mit zwei Dezimalstellen angegeben. Beispiel: HV 1600,25. Zur Angabe des Härtewertes wird der Wert der fünf Messungen herangezogen.

Arithmetischer Mittelwert, zulässige Abweichung wird je nach Lastgröße bestimmt:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Last <10 kgf : Abweichung 5 %;
- Belastung 10–30 kgf : Abweichung 3 %;
- Last > 30 kgf : Abweichung 2 %.

6 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

- Probennummer und Quelle (z. B. Materialmarke, Produktionscharge).
- Datum des Tests und wer den Test durchgeführt hat.
- Testbedingungen: Belastung (kgf), Haltezeit (s), Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit.
- Testergebnisse:
 - Diagonale Länge der Vertiefung für jede Messung (mm).
 - Durchschnittlicher Härtewert (HV).
 - Abweichungsbereich (%).
- Beschreibung ungewöhnlicher Zustände (wie etwa Oberflächendefekte der Probe, Messschwierigkeiten usw.).
- Unterschrift der Prüfstelle und des Prüfverantwortlichen.

Hartmetalltyp Korngrößenbereich (μm) Empfohlene Belastung (kgf) Haltezeit (s) Bemerkungen
Ultrafeinkörniges Hartmetall <0,5 5-10 10-15 Geeignet für Materialien mit hoher Härte
Feinkörniges Hartmetall 0,5-1,0 10-20 10-15 Ausgewogene Härte und Zähigkeit
Mittelkristallines Hartmetall 1,0–2,0 20–50 10–15 Allzweck-Hartmetall
Grobkörniges Hartmetall >2,0 50-120 10-15 Geeignet für verschleißfeste Teile

Tabelle 1: Referenztabelle für Testbedingungen

Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Referenztabelle für die Testbedingungen

A.2 Gebrauchsanweisung

- Die Lastauswahl sollte entsprechend der Probendicke angepasst werden. Wenn die Dicke weniger als 1 mm beträgt, sollte die Last 5 kgf nicht überschreiten .
- Wenn die Härte der Proben stark variiert, empfiehlt es sich, sie an verschiedenen Stellen zu messen und die Ergebnisse getrennt auszuweisen.
- Sollten bei der Prüfung unregelmäßige Eindrücke festgestellt werden, ist eine Überprüfung der Oberflächenbeschaffenheit der Probe bzw. eine Anpassung der Belastung erforderlich.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

GB/T 18376-2008

Hartmetall

Methode zur Bestimmung der Korngröße

Vorwort

Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung der Korngröße von Hartmetall fest und ist für Hartmetall (hauptsächlich WC-Co-Hartmetall) vorgesehen.

Diese Norm ist anwendbar auf die Hartmetallproduktion, Qualitätskontrolle,

Korngrößenbestimmung in Forschung und Anwendung.

Diese Norm bezieht sich auf die internationale Norm ISO 4499-2:2008 "Verfahren zur metallographischen Untersuchung von Hartmetall Teil 2: Korngröße

Diese Norm ersetzt die bisherigen einschlägigen Normen.
erlauben.

Dieser Standard wurde von der China Machinery Industry Federation vorgeschlagen und unterliegt der einheitlichen Verwaltung der China Cemented Carbide Industry Association.

Zu den Erstellerorganisationen dieser Norm gehören: Zhuzhou Cemented Carbide Group Co., Ltd., Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Chengdu Tool Research Institute
Ort.

Die Hauptverfasser dieser Norm

Dieser Standard tritt am 1. Dezember 2008 in Kraft.

Inhalt

1 Bereich 2

2 Normative Verweisungen

3 Begriffe und Definitionen

3.1 Korngröße

3.2 Lineare Achsenabschnittsmethode

3.3 Bildanalysemethode

3.4 Mittlere Korngröße

4 Prüfmethoden

4.1 Grundsatz

4.2 Instrumente und Ausrüstung

4.3 Probenvorbereitung

4.4 Prüfschritte

4.4.1 Lineare Achsenabschnittsmethode

4.4.2 Bildanalyse

4.5 Hinweise

5 Ergebnisberechnung und -darstellung

5.1 Korngrößenberechnung

5.2 Ergebnisse

6 Prüfbericht

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung der Korngröße von Wolframkarbid (WC) in Hartmetall unter Verwendung der metallografischen Mikroskop-Beobachtungsmethode fest. und lineare Intercept-Methode oder Bildanalyse-Methode, die auf Wolframkarbid (WC) als Hauptkomponente anwendbar ist und Metallbinder enthält (wie Kobalt) Hartmetall.

Diese Methode eignet sich zur Qualitätskontrolle, Leistungsbewertung und Korngrößenbestimmung von Hartmetallprodukten.

Diese Norm ist nicht anwendbar auf die Bestimmung der Korngröße von Hartmetallbeschichtungen oder Hartmetallen auf Nicht-WC-Basis (wie Cermets).

2 Normative Verweisungen

Die Abschnitte in den folgenden Dokumenten werden durch Bezugnahme in diesem Standard zu Abschnitten dieses Standards.

Für jedes undatierte Dokument, auf das verwiesen wird, gilt die neueste Ausgabe (einschließlich aller Änderungen).

Dieser Standard.

- GB/T 1997-2008 Hartmetall-Terminologie
- GB/T 3489-2008 Methode zur Bestimmung der Mikrostruktur von Hartmetall
- GB/T 5313-2008 Prüfverfahren für die metallografische Struktur von Hartmetall

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Korngröße

Die durchschnittliche Partikelgröße von Wolframkarbid (WC)-Körnern in Hartmetall, in Mikrometern (μm), wird üblicherweise durch Querschnittsmethode gemessen oder Bestimmt durch die Methode des linearen Achsenabschnitts.

3.2 Lineare Achsenabschnittsmethode

Unter einem metallografischen Mikroskop wurden zufällige gerade Linien auf den Querschnitt der Probe gezeichnet und die Anzahl der Schnittpunkte zwischen den geraden Linien und den Korngrenzen gezählt.

Methode zur Berechnung der durchschnittlichen Korngröße.

3.3 Bildanalysemethode

Eine Methode zum automatischen Identifizieren und Messen der Korngröße durch Analyse des Querschnittsbilds einer Probe unter einem metallografischen Mikroskop mithilfe einer Bildverarbeitungssoftware.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3.4 Mittlere Korngröße

Der arithmetische Mittelwert aller WC-Korngrößen in der Probe stellt die typischen Merkmale der Materialmikrostruktur dar.

4 Prüfmethoden

4.1 Grundsatz

Der Querschnitt des polierten und geätzten Hartmetalls wurde mit einem metallografischen Mikroskop untersucht und die Methode der linearen Schnittpunktmessung oder Bildanalyse wurde verwendet, um zu messen

Bestimmen Sie die WC-Korngröße.

4.2 Instrumente und Ausrüstung

- Metallurgisches Mikroskop: Vergrößerung 100x bis 1000x, ausgestattet mit Okular und Objektivlinse, mit guter Auflösung ($<0,5 \mu\text{m}$).
- Poliergerät: Wird zum Polieren der Probenoberfläche verwendet, die Geschwindigkeit der Polierscheibe beträgt 200-300 U/min, das Poliermittel ist Diamantpaste (Korn 1-3 μm).
- Ätzergerät: Verwenden Sie Murakami-Reagenz (10 % KOH + 10 % K[Fe(CN)]-Wasserlösung).
- Reinigungsgerät: Ultraschallreinigungsgerät, das Ethanol oder Aceton als Reinigungsmittel verwendet.
- Bildanalyse-System (optional): ausgestattet mit Bilderfassungs- und -verarbeitungssoftware.

4.3 Probenvorbereitung

4.3.1 Um die Repräsentativität zu gewährleisten, sollten die Proben aus Hartmetallprodukten entnommen werden. Die Größe beträgt in der Regel $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$.

4.3.2 Schneiden Sie die Probe mit einer Diamantschneideklinge und einer Schnittgeschwindigkeit von $<100 \text{ mm/min}$, um Risse oder thermische Schäden zu vermeiden.

4.3.3 Die Oberfläche der Probe wurde nacheinander mit Schleifpapier (Körnung 400, 800, 1200) poliert und anschließend mit Diamantpaste poliert, bis die Oberfläche keine sichtbaren Kratzer (Rauigkeit $R_a < 0,1 \mu\text{m}$).

4.3.4 Reinigen Sie die Probe mit einem Ultraschallreiniger (Reinigungsdauer 5 Min.), um Oberflächenschmutz und Poliermittelrückstände zu entfernen.
Mit einem Staubtuch trocken wischen.

4.3.5 Verwenden Sie Murakamis Reagenz, um die Probenoberfläche zu ätzen (Ätzzeit 10–20 s), um

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

die WC-Korngrenzen freizulegen.

Anschließend mit destilliertem Wasser abspülen und trocknen.

4.4 Prüfschritte

4.4.1 Lineare Achsenabschnittsmethode

4.4.1.1 Legen Sie die Probe unter ein metallografisches Mikroskop und stellen Sie die Vergrößerung (normalerweise 500 -fach) ein, um sicherzustellen, dass die Korngrenzen klar und deutlich sichtbar sind.

Sehen.

4.4.1.2 Wählen Sie zufällig 3 Sichtfelder aus (jedes Sichtfeld hat eine Fläche von ungefähr 0,1 mm²).

in jedes Sichtfeld 10 zufällig ausgewählte gerade Linien (jede etwa 100 µm lang) und notieren Sie den Abstand zwischen jeder geraden Linie und WC.

Die Anzahl der Schnittpunkte der Korngrenzen (N).

4.4.1.4 Berechnen Sie die durchschnittliche Achsenabschnittslänge:

$L = \frac{\text{Gesamte gerade Länge}}{\text{Gesamtzahl der Kreuzungspunkte}}$

4.4.1.5 Korngröße: $d = 1,56 \times L$

Endergebnis die durchschnittliche Korngröße der drei Sichtfelder .

4.4.2 Bildanalyse

4.4.2.1 Legen Sie die Probe unter ein metallografisches Mikroskop, stellen Sie die Vergrößerung ein (normalerweise 500 -fach) und machen Sie Bilder der drei Sichtfelder.

Mikrofoto.

4.4.2.2 Verwenden Sie eine Bildanalysesoftware, um WC-Korngrenzen automatisch zu identifizieren und die Größe von mindestens 100 Körnern in jedem Sichtfeld zu messen .

Zoll.

4.4.2.3 Berechnen Sie die durchschnittliche Korngröße jedes Sichtfelds und nehmen Sie den arithmetischen Mittelwert der drei Sichtfelder als Endergebnis .

4.5 Hinweise

- Die Ätzzeit muss streng kontrolliert werden. Zu lange Ätzzeiten können zu unscharfen Korngrenzen führen, während zu kurze Ätzzeiten die Korngrenzen möglicherweise nicht sichtbar

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

machen.

- Achten Sie bei der Beobachtung darauf, dass sich genügend Körner (>100) im Sichtfeld befinden, um die statistische Genauigkeit zu verbessern.
- Bei der Methode des linearen Achsenabschnitts sollten die Linien zufällig verteilt sein, um eine Auswahlverzerrung zu vermeiden.
- Bei der Bildanalysemethode müssen die Softwareparameter kalibriert werden, um die Messgenauigkeit sicherzustellen.

5 Ergebnisberechnung und -darstellung

5.1 Korngrößenberechnung

- Lineare Achsenabschnittsmethode: Korngröße $d = 1,56 \times L$, wobei 1,56 der Korrekturfaktor ist.
- Bildanalysemethode: Nehmen Sie direkt die von der Software berechnete durchschnittliche Korngröße.

5.2 Ergebnisse

Die Korngröße wird in Mikrometern (μm) mit zwei Dezimalstellen angegeben. Beispiel: 0,85 μm . Bei der Berichterstattung wird die

Die Methode (lineare Achsenabschnittsmethode oder Bildanalysemethode) und die Anzahl der Messungen dürfen eine Abweichung von $\pm 0,1 \mu\text{m}$ oder $\pm 10\%$ (je nachdem, welcher Wert größer ist) aufweisen.

je nachdem, was zutrifft).

6 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

- Probennummer und Quelle (z. B. Materialmarke, Produktionscharge).
- Datum des Tests und wer den Test durchgeführt hat.
- Versuchsbedingungen: Mikroskopvergrößerung, Anzahl der Sichtfelder, Ätzmittel und Ätzeit.
- Testergebnisse:
 - Korngröße (μm) für jede Messung.
 - Durchschnittliche Korngröße (μm).
 - Messmethode (lineares Achsenabschnittsverfahren oder Bildanalyse).
- Beschreibung ungewöhnlicher Zustände (wie etwa Oberflächendefekte der Probe, Messschwierigkeiten usw.).
- Unterschrift der Prüfstelle und des Prüfverantwortlichen.

Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Körnungstabelle

Korngrößenbereich (μm) Sorte Typische Anwendungen

<0,5 Ultrafeinkorn-Schneidwerkzeuge mit hoher Härte

0,5–1,0 Feinkörnigkeit für allgemeine Schneid- und Verschleißteile

1,0-2,0 Mittlere Körnung, ausgewogene Härte und Zähigkeit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

>2,0 Grobkörnige, hochbelastbare Verschleißteile

Tabelle 1: Körnungsklassentabelle

A.2 Gebrauchsanweisung

- Die Körnunggröße kann als Referenz für die Klassifizierung der Materialleistung verwendet werden, muss jedoch mit den tatsächlichen Anwendungsanforderungen kombiniert werden.
- Bei Proben mit ungleichmäßiger Korngrößenverteilung wird empfohlen, die Anzahl der Felder (auf 5-10) zu erhöhen , um die Repräsentativität zu verbessern.
- Wenn die Ergebnisse der beiden Methoden erheblich voneinander abweichen, sollte die Methode des linearen Achsenabschnitts als Standardwert verwendet werden.

Anhang:

ISO 4505:1978

Hartmetall

Metallografische Bestimmung von Porosität und freiem Kohlenstoff

Vorwort

Diese Norm legt das metallografische Verfahren zur Bestimmung der Porosität und des freien Kohlenstoffs in Hartmetall fest und soll

Diese Norm bietet einheitliche technische Spezifikationen für die Qualitätskontrolle und Leistungsbewertung von WC-Co-Hartmetall.

Porositäts- und freie Kohlenstoffanalyse bei der Legierungsherstellung, Forschung und Anwendung.

Diese Norm wurde von der Internationalen Organisation für Normung (ISO) entwickelt und erstmals 1978 veröffentlicht. Sie gilt für Wolframkarbid (WC).

Hartmetall mit Nickel als Hauptbestandteil und einem metallischen Bindemittel (z. B. Kobalt).

Inhalt

- 1 Geltungsbereich
- 2 Normative Verweisungen
- 3 Begriffe und Definitionen
 - 3.1 Porosität
 - 3.2 Freier Kohlenstoff
 - 3.3 Metallographische Untersuchung
- 4 Prüfmethoden
 - 4.1 Grundsatz
 - 4.2 Instrumente und Ausrüstung
 - 4.3 Probenvorbereitung
 - 4.4 Prüfschritte
 - 4.5 Hinweise
- 5 Ergebnisauswertung
 - 5.1 Porositätsbewertung
 - 5.2 Freie Kohlenstoffbewertung
- 6 Prüfbericht

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das metallografische Bestimmungsverfahren für Porosität und freien Kohlenstoff in Hartmetall fest. Es wird ein metallografisches Mikroskop verwendet, das für

Für Hartmetall mit Wolframkarbid (WC) als Hauptbestandteil und mit metallischem Binder (z. B. Kobalt). Die Methode umfasst die Probe

Vorbereitung, mikroskopische Beobachtung und Ergebnisauswertung.

Diese Norm gilt für die Bestimmung von Porosität und freiem Kohlenstoff bei der Qualitätskontrolle und Leistungsbewertung von Hartmetallprodukten.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Diese Norm ist nicht auf die Analyse von Hartmetallbeschichtungen oder Hartmetallen auf Nicht-WC-Basis (wie Cermets) anwendbar.

2 Normative Verweisungen

Diese Norm verweist nicht direkt auf andere internationale Normen, sondern bezieht sich auf die Normenreihe ISO 4499 „Metallografische Untersuchung von Hartmetall“.

Die neueste Version kann als Referenz verwendet werden.

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Porosität

Der Volumenanteil der Poren in Hartmetall, ausgedrückt als Prozentsatz (%), wird in Typ A (Durchmesser <math><10 \mu\text{m}</math>), Typ B (10–25 μm Durchmesser) und Typ C (freie kohlenstoffbezogene Poren).

3.2 Freier Kohlenstoff

Der Kohlenstoff in Hartmetall, der mit Metall keine Carbide bildet, liegt in Form der C-Phase vor, normalerweise in Form schwarzer Partikel.

3.3 Metallographische Untersuchung

Beobachten Sie die Mikrostruktur der polierten Oberfläche oder nach dem Ätzen von Hartmetall durch ein metallografisches Mikroskop, um Poren und freien Kohlenstoff zu identifizieren.

4 Prüfmethoden

4.1 Grundsatz

Beobachten Sie die polierte Oberfläche von Hartmetall mit einem metallografischen Mikroskop, identifizieren und klassifizieren Sie Poren und freien Kohlenstoff und Eine quantitative oder qualitative Auswertung kann mit numerischen Methoden erfolgen.

4.2 Instrumente und Ausrüstung

- Metallurgisches Mikroskop: Vergrößerung 100x bis 500x, ausgestattet mit Okular und Objektivlinse, mit guter Auflösung (<math><0,5 \mu\text{m}</math>).
- Poliergerät: Wird zum Polieren der Probenoberfläche verwendet, das Poliermittel ist Diamantpaste (Partikelgröße 1–3 μm).
- Reinigungsgerät: Verwenden Sie Ethanol oder Aceton, ausgestattet mit einem Ultraschall-Reinigungsgerät.

4.3 Probenvorbereitung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.1 Um die Repräsentativität zu gewährleisten, sollten die Proben aus Hartmetallprodukten entnommen werden. Die Größe beträgt in der Regel $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 5\text{ mm}$.

4.3.2 Schneiden Sie die Probe mit einer Diamantschneideklinge und einer Schnittgeschwindigkeit von $<100\text{ mm/min}$, um Risse oder thermische Schäden zu vermeiden.

4.3.3 Die Oberfläche der Probe wird nacheinander mit Schleifpapier (Körnung 400, 800, 1200) poliert und anschließend mit Diamantpaste poliert, bis die Oberfläche keine sichtbaren Kratzer (Rauigkeit $Ra < 0,1\text{ }\mu\text{m}$).

4.3.4 Reinigen Sie die Probe mit einem Ultraschallreiniger (Reinigungsdauer 5 Min.), um Oberflächenschmutz und Poliermittelrückstände zu entfernen.
Mit einem Staubtuch trocken wischen.

4.3.5 Die Probenoberfläche muss nicht geätzt werden und kann direkt zur Beobachtung der Porosität und des freien Kohlenstoffs verwendet werden.

4.4 Prüfschritte

4.4.1 Legen Sie die Probe unter ein metallografisches Mikroskop und stellen Sie die Vergrößerung ein (normalerweise 200 -fach), um sicherzustellen, dass die Poren und der freie Kohlenstoff klar sind.

Deutlich sichtbar.

4.4.2 Wählen Sie zufällig 5 Sichtfelder aus (jedes Sichtfeld hat eine Fläche von ungefähr $0,1\text{ mm}^2$) und beobachten und dokumentieren Sie die Verteilung der Poren und des freien Kohlenstoffs.

4.4.3 Identifizieren Sie anhand der folgenden Kategorien:

- Poren vom Typ A: Durchmesser $<10\text{ }\mu\text{m}$, rund oder unregelmäßig geformt.
- Poren vom Typ B: $10\text{--}25\text{ }\mu\text{m}$ im Durchmesser, erscheinen als größere Löcher.
- Poren Typ C: mit freiem Kohlenstoff verbunden und in Form schwarzer Partikel verteilt.

4.4.4 Zählen Sie die Anzahl der Poren und des freien Kohlenstoffs in jedem Sichtfeld oder vergleichen und bewerten Sie sie mit dem Standardspektrum.

4.5 Hinweise

- Die Probenoberfläche sollte eben und frei von Kratzern oder Verunreinigungen sein, da sonst die Porosität falsch eingeschätzt werden kann.
- Vermeiden Sie Störungen durch Lichtreflexionen während der Beobachtung und sorgen Sie für klare Grenzen zwischen Poren und freiem Kohlenstoff.
- Wenn die Porenverteilung auf der Probenoberfläche ungleichmäßig ist, erhöhen Sie die Anzahl der

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Felder auf 10, um die Repräsentativität zu verbessern.

5 Ergebnisauswertung

5.1 Porositätsbewertung

Gemäß ISO 4505:1978 wird die Porosität in folgende Stufen eingeteilt:

- A00: keine Poren vom Typ A;
- A02: Poren Typ A <2 / Sichtfeld;
- A04: 2–4 Poren vom Typ A/Feld;
- B00: keine Poren vom Typ B;
- B02: Poren Typ B <2 / Sichtfeld;
- C00: keine Poren vom Typ C;
- C02: C-Typ-Poren <2 / Sichtfeld.

5.2 Freie Kohlenstoffbewertung

Freier Kohlenstoff liegt in Form von C-Typ-Poren vor und die Bewertung entspricht der von C-Typ-Poren:

- C00: kein freier Kohlenstoff;
- C02: Freier Kohlenstoff <2 / Sichtfeld.

6 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

- Probennummer und Quelle (z. B. Materialmarke, Produktionscharge).
- Datum des Tests und wer den Test durchgeführt hat.
- Versuchsbedingungen: Mikroskopvergrößerung, Anzahl der Sichtfelder.
- Testergebnisse:
 - Porositätsklasse (Typ A, Typ B, Typ C).
 - Beschreibung der freien Kohlenstoffverteilung.
- Beschreibung abnormaler Zustände (wie etwa Oberflächendefekte der Probe, Schwierigkeiten bei der Beobachtung usw.).
- Unterschrift der Prüfstelle und des Prüfverantwortlichen.

Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Kennliniendiagramm für Porosität und freien Kohlenstoff

Nachfolgend sehen Sie ein Referenzdiagramm zur Porosität und zum freien Kohlenstoff:

- Poren vom Typ A: Durchmesser <10 µm, rund verteilt oder unregelmäßig geformt.
- Poren vom Typ B: 10–25 µm im Durchmesser, erscheinen als große isolierte Löcher.
- Poren Typ C (freier Kohlenstoff): schwarzes Granulat, verbunden mit Poren Typ A oder Typ B.

A.2 Gebrauchsanweisung

- Die Beurteilung der Porosität und des freien Kohlenstoffgehalts sollte auf dem Durchschnitt von 5 Sichtfeldern basieren.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Wenn mehr Poren vom Typ C gefunden werden, wird eine weitere Analyse der chemischen Zusammensetzung empfohlen, um zu prüfen, ob der Kohlenstoffgehalt nicht ausreicht.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

ISO 3326:2013

Methoden zur Probenahme und Probenvorbereitung bei Hartmetall

Vorwort

Diese Norm legt die Verfahren zur Probenahme und Probenvorbereitung für Hartmetall fest und soll

Bereitstellung einheitlicher technischer Spezifikationen für nachfolgende Leistungstests (wie metallografische Untersuchungen, Härtemessungen und Korngrößenanalysen) hochwertiger Legierungen

Die Norm gilt für die Probenahme und Probenvorbereitung bei der Herstellung, Qualitätskontrolle, Forschung und Anwendung von Hartmetall.

Dieser Standard wurde von der Internationalen Organisation für Normung (ISO) entwickelt und erstmals im Jahr 2013 veröffentlicht. Er ersetzt ISO 3326:1975.

Dabei werden die Bedürfnisse der modernen Hartmetallindustrie mit der Entwicklung von Prüftechnologien kombiniert.

Inhalt

1 Geltungsbereich

2 Normative Verweisungen

3 Begriffe und Definitionen

3.1 Probenahme

3.2 Prüfling

3.3 Polierte Oberfläche

3.4 Repräsentativität

4 Probenahmemethoden

4.1 Grundsätze der Probenahme

4.2 Probenahmeverfahren

4.3 Hinweise

5. Probenvorbereitungsmethode

5.1 Grundsätze der Zubereitung

5.2 Vorbereitungsschritte

5.3 Anwendbarkeit

5.4 Hinweise

6 Qualitätsanforderungen

7 Prüfbericht

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt die Probenahme- und Probenvorbereitungsverfahren für Hartmetall fest und ist auf Hartmetall mit Wolframkarbid (WC) als Hauptbestandteil anwendbar.

Hartmetall mit einem metallischen Bindemittel wie Kobalt. Das Verfahren umfasst die Entnahme einer Probe aus einem Hartmetallprodukt oder Rohmaterial und die Vorbereitung

Proben zur metallografischen Bestimmung sowie zur Bestimmung von Härte, Dichte und

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

Korngröße.

Diese Norm gilt für die Qualitätskontrolle, Leistungsprüfung und Forschung während des Hartmetall-Herstellungsprozesses.

Diese Norm gilt nicht für die Probenahme und Vorbereitung von Hartmetallbeschichtungen oder Hartmetallen auf Nicht-WC-Basis (wie Cermets).

2 Normative Verweisungen

Die Abschnitte in den folgenden Dokumenten werden durch Bezugnahme in diesem Standard zu Abschnitten dieses Standards.

Für jedes undatierte Dokument, auf das verwiesen wird, gilt die neueste Ausgabe (einschließlich aller Änderungen).

Dieser Standard.

- **ISO 4499-1:2008 Metallografische Untersuchungsverfahren für Hartmetalle Teil 1: Allgemeines**
- **ISO 4505:2017 Metallografische Bestimmung der Porosität und des freien Kohlenstoffs in Hartmetallen**
- **ISO 3327:2009 Bestimmung der Dichte von Hartmetall**

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Probenahme

Wählen Sie repräsentative Teile aus Hartmetallprodukten oder -rohstoffen für anschließende Leistungstests aus.

3.2 Prüfling

Nach der Probenahme und Vorbereitung erfüllen Hartmetallproben bestimmte Testanforderungen.

3.3 Polierte Oberfläche

Nach der mechanischen oder chemischen Behandlung ist die Oberfläche der Probe glatt und weist keine sichtbaren Kratzer oder Defekte auf, was für die metallografische Betrachtung geeignet ist. Beobachten.

3.4 Repräsentativität

Das Ausmaß, in dem die Probe die Gesamteigenschaften des Ausgangsmaterials hinsichtlich Größe, Struktur und Zusammensetzung widerspiegelt.

4 Probenahmemethoden

4.1 Grundsätze der Probenahme

4.1.1 Durch die Probenahme soll sichergestellt werden, dass die Proben repräsentativ sind und die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Homogenität sowie mögliche Mängel der Produkte oder Rohstoffe abdecken.

4.1.2 Der Probenahmeort sollte Randeffekte oder von der Verarbeitung betroffene Bereiche vermeiden.

4.2 Probenahmeverfahren

4.2.1 Probenahme aus Fertigprodukten:

1-2 Proben in Längs- und Querrichtung . Die Länge der Probe entspricht dem Produktdurchmesser. mal dem Durchmesser oder der Dicke und die Breite beträgt nicht weniger als 5 mm.

– Bei komplex geformten Produkten wählen Sie einen repräsentativen Abschnitt aus und schneiden Sie einen 10 mm × 10 mm × 5 mm großen Probe.

4.2.2 Probenahme aus Rohstoffen:

– Zufällig aus Pulver oder vorgesintertem Grünkörper mit einem Gewicht von mindestens 50 g auswählen, gut mischen und kleine Teststücke vorbereiten Probe .

4.2.3 Schneidwerkzeug: Verwenden Sie eine Diamantschneidklinge mit einer Schnittgeschwindigkeit von <100 mm/min, um thermische Schäden oder Risse zu vermeiden.

4.3 Hinweise

- Vermeiden Sie Verunreinigungen (wie Öl oder Staub) während der Probenahme.
- Wenn die Härte der Produkte stark schwankt, erhöhen Sie die Anzahl der Probenahmepunkte auf 5-10 .

5. Probenvorbereitungsmethode

5.1 Grundsätze der Zubereitung

5.1.1 Die Proben müssen mit einer ebenen, fehlerfreien Oberfläche vorbereitet werden, die für die nachfolgenden Prüfanforderungen geeignet ist.

5.1.2 Der Vorbereitungsprozess sollte Materialschäden wie Risse oder strukturelle Verformungen minimieren.

5.2 Vorbereitungsschritte

5.2.1 Vorschneiden:

– Die Probe mit einer mindestens 5 mm dicken Diamanttrennscheibe grob auf die gewünschte Größe zuschneiden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.2.2 Grobschliff:

– Schleifen Sie die Oberfläche der Probe mit Schleifpapier (Körnung 400, 800) ab, um die Schnittspuren zu entfernen.

5.2.3 Feinschleifen und Polieren:

– Weiteres Schleifen mit Schleifpapier der Körnung 1200 und anschließendes Polieren mit Diamantpaste (1-3 µm Körnung) auf einer Poliermaschine
Polieren bis zu einer Rauheit von $Ra < 0,1 \mu m$.

5.2.4 Reinigung:

– Reinigen Sie die Probe in einem Ultraschallreiniger (Ethanol oder Aceton, 5 min), um das restliche Poliermittel zu entfernen und
Mit einem Tuch trocknen.

5.2.5 Ätzen (optional):

– Wenn eine metallografische Beobachtung erforderlich ist, verwenden Sie das Murakami-Reagenz (10 % KOH + 10 % K[Fe(CN)]-Wasserlösung).
Die Oberfläche ätzen (10–20 s), anschließend mit destilliertem Wasser abspülen und trocknen.

5.3 Anwendbarkeit

- Metallografische Prüfung: Muss auf Hochglanz poliert und bei Bedarf geätzt werden.
- Härteprüfung: Die Dicke sollte mindestens das 1,5-fache der Eindringtiefe betragen und die Oberfläche sollte eben sein.
- Dichtebestimmung: Die Probe hat eine regelmäßige Form (zB Würfel oder Zylinder) und keine Poren.

5.4 Hinweise

- Vermeiden Sie eine Überhitzung beim Polieren, um Strukturveränderungen vorzubeugen.
- Die Kanten der Probe sollten abgeschrägt werden, um eine Rissausbreitung zu verhindern.
- Wenn auf der Oberfläche der Probe Kratzer auftreten, muss diese erneut poliert werden.

6 Qualitätsanforderungen

6.1 Die Oberfläche der Probe sollte frei von offensichtlichen Kratzern, Rissen oder Verunreinigungen sein.

6.2 Die Probengrößentoleranz beträgt $\pm 0,1 \text{ mm}$ und die Ebenheit $< 0,05 \text{ mm}$.

6.3 Die Oberflächenrauheit nach dem Polieren beträgt $Ra < 0,1 \mu m$ und ist für hochpräzise Prüfungen geeignet.

7 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

- Probennummer und Quelle (z. B. Materialmarke, Produktionscharge).
- Datum der Probenentnahme und wer sie vorbereitet hat.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Probenahmemethoden: Ort, Menge, Werkzeuge.
- Vorbereitungsprozess: Schneiden, Schleifen, Polieren, Reinigungsbedingungen.
- Probenqualität: Größe, Oberflächenbeschaffenheit.
- Beschreibung der anormalen Situation (wie etwa Beschädigung, Verunreinigung usw.).
- Unterschrift der Prüfstelle und des Prüfverantwortlichen.

Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Probenentnahme- und Aufbereitungsbeispiele

- Stabproben: Zwei 10 mm dicke Proben wurden längs aus einem Stab mit 20 mm Durchmesser geschnitten und als 10 mm × 10 mm × 5 mm.
- Plattenprobenahme: Nehmen Sie zufällig 4 Proben mit 10 mm × 10 mm aus der 5 mm dicken Platte.
- Poliervorgang: Schleifpapier 400er Körnung 2 Min., Schleifpapier 800er Körnung 2 Min., Schleifpapier 1200er Körnung 3 Min., Diamantpastenpolieren 5 Min. min.

A.2 Gebrauchsanweisung

- Zur einfachen Rückverfolgbarkeit sollten die Probenahmestellen aufgezeichnet werden.
- Achten Sie bei mehrphasigem Hartmetall bei der Herstellung auf die Gleichmäßigkeit der Verteilung der einzelnen Phasen.
- Bei abweichenden späteren Prüfanforderungen kann der Poliergrad angepasst werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

ASTM B657-16
Analyse der Mikrostruktur von Hartmetall

Vorwort

Diese Norm legt die Analysemethode der Mikrostruktur von Hartmetall fest und zielt darauf ab, diese Norm ist anwendbar auf die Hartmetallproduktion, Qualitätskontrolle, Mikrostrukturanalyse in Forschung und Anwendung.

Dieser Standard wurde von der American Society for Testing and Materials (ASTM) entwickelt und 2016 veröffentlicht. Er ersetzt ASTM B657-11

Version, die die Anforderungen der modernen Hartmetallindustrie mit der Entwicklung mikroanalytischer Techniken kombiniert.

Inhalt

1 Geltungsbereich

2 Normative Verweisungen

3 Begriffe und Definitionen

3.1 Hartmetall

3.2 Mikrostruktur

3.3 Binderphase

3.4 Porosität

3.5 Freier Kohlenstoff

4 Prüfmethoden

4.1 Grundsatz

4.2 Instrumente und Ausrüstung

4.3 Probenvorbereitung

4.4 Prüfschritte

4.5 Hinweise

5 Ergebnisauswertung

5.1 Mikrostrukturelle Eigenschaften

5.2 Einflussfaktoren

6 Prüfbericht

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt die Analysemethode der Mikrostruktur von Hartmetall unter Verwendung der metallografischen Mikroskop-Beobachtungsmethode fest, anwendbar auf Wolframkarbid (WC) als Hauptbestandteil und enthält ein Metallbindemittel (wie Kobalt). Die Methode umfasst Probenvorbereitung, mikroskopische Beobachtung Beobachtung und Identifizierung mikrostruktureller Merkmale.

Diese Norm ist auf die Qualitätskontrolle, Leistungsbewertung und Mikrostrukturanalyse bei der Forschung an Hartmetallprodukten anwendbar.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Diese Norm ist nicht auf die mikrostrukturelle Analyse von Hartmetallbeschichtungen oder Hartmetallen auf Nicht-WC-Basis (wie Cermets) anwendbar.

Hinweis: Diese Norm betrifft keine Sicherheitsaspekte. Benutzer sollten die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen entsprechend den Versuchsbedingungen treffen.

2 Normative Verweisungen

Die Abschnitte in den folgenden Dokumenten werden durch Bezugnahme in diesem Standard zu Abschnitten dieses Standards.

Für jedes undatierte Dokument, auf das verwiesen wird, gilt die neueste Ausgabe (einschließlich aller Änderungen).

Dieser Standard.

- ASTM E3 Methoden zur Herstellung metallografischer Proben aus metallischen Werkstoffen
- ASTM E7 Standardterminologie für Metallographie
- ASTM E112-Methode zur Bestimmung der durchschnittlichen Korngröße

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Hartmetall

Ein Verbundwerkstoff, der durch Pulvermetallurgie aus Wolframcarbid (WC)-Partikeln und einem Metallbindemittel (z. B. Kobalt) hergestellt wird.

3.2 Mikrostruktur

Zu den strukturellen Eigenschaften von Hartmetall, die unter einem metallografischen Mikroskop beobachtet werden, gehören WC-Körner, Bindungsphasen und Defekte (wie Poren, freier Kohlenstoff).

3.3 Binderphase

Die Metallphase, die die WC-Partikel im Hartmetall verbindet, besteht normalerweise aus Kobalt (Co) und ist kontinuierlich oder halbkontinuierlich verteilt.

3.4 Porosität

Die winzigen Löcher im Hartmetall werden entsprechend ihrer Größe in Typ A (<10 µm), Typ B (10-25 µm) und Typ C unterteilt.
(bezogen auf freien Kohlenstoff).

3.5 Freier Kohlenstoff

Der Kohlenstoff im Hartmetall, der mit Metall keine Carbide bildet, ist in Form schwarzer Partikel verteilt.

4 Prüfmethoden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.1 Grundsatz

Der polierte und geätzte Querschnitt des Hartmetalls wurde mit einem metallografischen Mikroskop untersucht, um WC-Körner, Bindephase, Poren und Mikrostrukturelle Eigenschaften wie freier Kohlenstoff.

4.2 Instrumente und Ausrüstung

- Metallurgisches Mikroskop: Vergrößerung 100x bis 1000x, Auflösung <0,5 µm.
- Poliergerät: Als Poliermittel wird Diamantpaste (Partikelgröße 1-3 µm) verwendet.
- Ätzmittel: Murakami-Reagenz (10 % KOH + 10 % K[Fe(CN)] in Wasser).
- Reinigungsgerät: Ultraschall-Reinigungsgerät mit Ethanol oder Aceton.

4.3 Probenvorbereitung

4.3.1 Um die Repräsentativität zu gewährleisten, sollten die Proben aus Hartmetallprodukten entnommen werden. Die Größe beträgt in der Regel 10 mm × 10 mm × 5 mm.

4.3.2 Schneiden Sie die Probe mit einer Diamantschneideklinge und einer Schnittgeschwindigkeit von <100 mm/min, um Risse oder thermische Schäden zu vermeiden.

4.3.3 Die Probenoberfläche wurde nacheinander mit Schleifpapier (Körnung 400, 800, 1200) poliert und anschließend mit Diamantpaste poliert, bis die Oberfläche Rauheit Ra<0,1 µm.

4.3.4 Reinigen Sie die Probe mit einem Ultraschallreiniger (Reinigungsdauer 5 Min.), um Oberflächenschmutz und Poliermittelrückstände zu entfernen. Mit einem Staubtuch trocken wischen.

4.3.5 Ätzen Sie die Probenoberfläche mit Murakami-Reagenz (Ätzzeit 10-20 s), um die WC-Korn Grenzen freizulegen und
Anschließend wurden die mikrostrukturellen Merkmale mit destilliertem Wasser gespült und getrocknet.

4.4 Prüfschritte

4.4.1 Legen Sie die Probe unter ein metallografisches Mikroskop, stellen Sie die Vergrößerung ein (normalerweise 500 -fach) und beobachten Sie die Mikrostruktur.

4.4.2 Wählen Sie nach dem Zufallsprinzip 5 Sichtfelder aus (jedes Sichtfeld hat eine Fläche von ungefähr 0,1 mm²) und notieren Sie die folgenden Eigenschaften:

- WC-Korngröße und -Verteilung.
- Verteilung und Morphologie der Bindephase.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Art und Anzahl der Poren (Typ A, Typ B, Typ C).
- Vorhandensein und Verteilung von freiem Kohlenstoff.

4.4.3 Vergleichen Sie mit dem Standard-Mikrostrukturatlas und bewerten Sie die mikrostrukturellen Eigenschaften.

4.5 Hinweise

- Die Ätzzeit muss streng kontrolliert werden. Eine zu lange Ätzzeit kann zu unscharfen Korngrenzen führen, während eine zu kurze Ätzzeit dazu führen kann, dass Strukturmerkmale nicht sichtbar werden.
- Stellen Sie sicher, dass sich genügend Körner (>100) im Sichtfeld befinden, um die statistische Genauigkeit zu verbessern.
- Bei ungleichmäßig verteilter Mikrostruktur die Anzahl der Felder auf 10 erhöhen.

5 Ergebnisauswertung

5.1 Mikrostrukturelle Eigenschaften

- WC-Körner: Korngröße bewerten (ultrafeine Körner <0,5 μm , feine Körner 0,5-1,0 μm , mittlere Körner 1,0-2,0 μm , Grobkörnigkeit >2,0 μm) und Verteilungsgleichmäßigkeit.
- Bindephase: beschreibt die Kontinuität der Kobaltphase (homogen, diskontinuierlich oder agglomeriert).
- Porosität: klassifiziert in Typ A, Typ B und Typ C und bewertet (A00: keine Poren vom Typ A; A02: <2 Feld; B00: keine Poren vom B-Typ; C00: keine Poren vom C-Typ).
- Freier Kohlenstoff: Bewerten Sie das Vorhandensein und die Verteilung (C00: kein freier Kohlenstoff; C02: <2 pro Sichtfeld).

5.2 Einflussfaktoren

Die Mikrostruktur beeinflusst die mechanischen und physikalischen Eigenschaften von Hartmetall:

- Eine kleinere Korngröße erhöht im Allgemeinen die Härte und Verschleißfestigkeit, kann aber die Zähigkeit verringern.
- Eine erhöhte Porosität kann die Festigkeit und Haltbarkeit verringern.
- Übermäßiger freier Kohlenstoff kann zur Versprödung des Materials führen.

6 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

- Probennummer und Quelle (z. B. Materialmarke, Produktionscharge).
- Datum des Tests und wer den Test durchgeführt hat.
- Versuchsbedingungen: Mikroskopvergrößerung, Anzahl der Sichtfelder, Ätzbedingungen.
- Testergebnisse:
 - Beschreibung der WC-Korngröße und -Verteilung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Morphologie der Bindephase.
- Porosität und freier Kohlenstoffgehalt.
- Beschreibung abnormaler Zustände (wie etwa Oberflächendefekte der Probe, Schwierigkeiten bei der Beobachtung usw.).
- Unterschrift der Prüfstelle und des Prüfverantwortlichen.

Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Mikrostrukturmerkmale

- Ultrafeine Kornstruktur: Korngröße $<0,5 \mu\text{m}$, gleichmäßig verteilt und durchgehende Bindephase.
- Porentypen: Typ A ($<10 \mu\text{m}$), Typ B (10-25 μm), Typ C (schwarz körnig).
- Freier Kohlenstoff: schwarzes Granulat, oft mit Poren vom Typ C.

A.2 Gebrauchsanweisung

- Diese Norm dient nur der mikrostrukturellen Identifizierung und ist nicht als Abnahmespezifikation für Hartmetallsorten gedacht.
- Hersteller und Anwender können auf Basis mikrostruktureller Informationen eigene Spezifikationen entwickeln.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

ISO 4489:2009

Leitfaden zum Sinterprozess von Hartmetall

Vorwort

Diese Norm enthält Richtlinien für den Sinterprozess von Hartmetall und zielt auf Hartmetall (hauptsächlich WC-Co-Hartmetall) ab.

Diese Norm ist auf die Optimierung des Sinterprozesses und die Qualitätskontrolle bei der Hartmetallproduktion anwendbar.

Verbesserungen bei Steuerung und Leistung.

Dieser Standard wurde von der Internationalen Organisation für Normung (ISO) entwickelt und 2009 veröffentlicht. Er ersetzt die Version ISO 4489:1978.

Es vereint die Entwicklung moderner Sintertechnologie mit den Anforderungen der Industrie.

Inhalt

1 Geltungsbereich

2 Normative Verweisungen

3 Begriffe und Definitionen

3.1 Sintern

3.2 Flüssigphasensintern

3.3 Grüner Pakt

3.4 Sinterdichte

4 Sinterprozessübersicht

4.1 Verfahrensprinzip

4.2 Prozessablauf

5 Sinterprozessparameter

5.1 Temperatur

5.2 Atmosphäre

5.3 Zeit

5.4 Druck (optional)

5.5 Hinweise

6 Prozesskontrolle und Qualitätssicherung

6.1 Online-Überwachung

6.2 Qualitätsprüfung

6.3 Ausnahmebehandlung

7 Prüfbericht

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt die Anleitung für das Sinterverfahren von Hartmetall fest und ist anwendbar auf Hartmetall mit Wolframkarbid (WC) als Hauptbestandteil und enthält Hartmetall mit Metallbinder (z. B. Kobalt). Das Verfahren umfasst die Vorbereitung vor dem Sintern, die Steuerung des Sinterprozesses und die Eigenschaften nach dem Sintern.

Auswerten.

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

Diese Norm ist auf die Optimierung des Sinterprozesses, die Qualitätskontrolle und die Forschung im Produktionsprozess von Hartmetall anwendbar.

Diese Norm gilt nicht für den Sinterprozess von Hartmetallbeschichtungen oder Hartmetallen auf Nicht-WC-Basis (wie Cermets).

2 Normative Verweisungen

Die Abschnitte in den folgenden Dokumenten werden durch Bezugnahme in diesem Standard zu Abschnitten dieses Standards.

Für jedes undatierte Dokument, auf das verwiesen wird, gilt die neueste Ausgabe (einschließlich aller Änderungen).

Dieser Standard.

- **ISO 3326:2013 Verfahren zur Probenahme und Vorbereitung von Prüfkörpern für Hartmetalle**
- **ISO 4505:2017 Metallografische Bestimmung der Porosität und des freien Kohlenstoffs in Hartmetallen**
- **ISO 4499-1:2008 Metallografische Untersuchungsverfahren für Hartmetalle Teil 1: Allgemeines**

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Sintern

Der Prozess des Erhitzens und Pressens des Hartlegierungspulverkörpers, um eine metallurgische Verbindung zwischen den Partikeln zu bilden. Die Temperatur liegt normalerweise unter Schmelzpunkt der Hauptkomponente.

3.2 Flüssigphasensintern

Während des Sinterns schmilzt ein Teil des Bindemittels (z. B. Kobalt) in die flüssige Phase und fördert so die Neuordnung und Verdichtung der Partikel.

3.3 Grüner Pakt

Der durch Pulverpressen entstandene ungesinterte Grünkörper weist eine gewisse Anfangsfestigkeit auf.

3.4 Sinterdichte

Die tatsächliche Dichte von Hartmetall nach dem Sintern wird üblicherweise als Prozentsatz der theoretischen Dichte ausgedrückt.

4 Sinterprozessübersicht

4.1 Verfahrensprinzip

Das Sintern erfolgt durch Erhitzen des grünen Blocks auf eine Temperatur unterhalb des

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Schmelzpunkts von WC (ca. 2870 °C), um das Kobaltbindemittel zu schmelzen und zu bilden
Die flüssige Phase fördert die Diffusion und Bindung zwischen WC-Partikeln und bildet schließlich eine dichte Hartmetallstruktur.

4.2 Prozessablauf

4.2.1 Pulvervorbereitung: WC-Pulver und Kobaltpulver mischen, die Partikelgröße wird auf 0,5–5 µm kontrolliert und der Kobaltgehalt beträgt normalerweise 6–15 %.

4.2.2 Pressen: Das Pulver wird bei einem Druck von 100–400 MPa zu einem Grünling gepresst.

4.2.3 Entwachsen: Entfernung des Pressschmiermittels bei niedriger Temperatur (300–600 °C).

Im Vakuum oder in einer Schutzatmosphäre (wie H₂ oder Ar) auf 1350–1500 °C erhitzen und 30–60 Minuten warm halten.

4.2.5 Abkühlung: Kontrollieren Sie die Abkühlungsrate (5–20 °C/min), um thermische Spannungsrisse zu vermeiden.

5 Sinterprozessparameter

5.1 Temperatur

- Sintertemperaturbereich: 1350–1500 °C, abhängig vom Kobaltgehalt und der WC-Korngröße.
- Temperatur der Flüssigphasenbildung: ca. 1300 °C (Schmelzpunkt von Kobalt), das Flüssigphasenverhältnis muss bei 20–40 % liegen.

5.2 Atmosphäre

- Vakuumsintern: Druck <10sup -2P aH₂ oder Ar , Taupunkt <-40°C, um Oxidation zu verhindern.

5.3 Zeit

- Heißhaltezeit: 30–60 Minuten. Zu lange kann zu Kornwachstum führen.
- Gesamtzyklus: 4–6 Stunden, einschließlich Heizen und Kühlen.

5.4 Druck (optional)

- Heißisostatisches Pressen (HIP): Nach dem Sintern wird ein Druck von 100–200 MPa ausgeübt, um die Dichte weiter auf 98–99 % zu erhöhen.

5.5 Hinweise

- Vermeiden Sie übermäßige Temperaturen, die zu einer Zersetzung des WC oder einer übermäßigen Karbonisierung führen können.
- Kontrollieren Sie die Luftfeuchtigkeit, um Oxidation oder Entkohlung zu verhindern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6 Prozesskontrolle und Qualitätssicherung

6.1 Online-Überwachung

- Temperaturregelgenauigkeit ± 5 °C, Überwachung des Atmosphärendrucks.
- Dichtemessung: Rohblockdichte > 50 % der theoretischen Dichte, Sinterdichte > 90 %.

6.2 Qualitätsprüfung

- Metallografische Analyse: Überprüfen Sie die Porosität (A00-B00) und den freien Kohlenstoff (C00).
- Härtetest: HRA88 (je nach Marke).

6.3 Ausnahmebehandlung

- Wenn die Dichte nicht ausreicht, passen Sie den Kobaltgehalt an oder fügen Sie eine HIP-Behandlung hinzu.
- Bei zu grober Körnung die Sintertemperatur senken oder die Haltezeit verkürzen.

7 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

- Probennummer und Quelle (z. B. Materialmarke, Produktionscharge).
- Sinterdatum und Bediener.
- Prozessparameter: Temperatur, Atmosphäre, Zeit, Druck.
- Sinterergebnisse: Dichte, Härte, metallografische Struktur.
- Beschreibung von Auffälligkeiten (zB Risse, Poren etc.).
- Unterschrift der Prüfstelle und des Prüfverantwortlichen.

Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Beispiel für einen Sinterprozess

- Marke: YG6 (enthält 6 % Kobalt)
 - Pressdruck: 200 MPa
 - Sintertemperatur: 1420°C
 - Atmosphäre: Vakuum (10sup -3P a40min)
 - Dichte: 14,8 g/c3m (98 % der theoretischen Dichte)
- Marke: YG15 (enthält 15 % Kobalt)
 - Pressdruck: 300 MPa
 - Sintertemperatur: 1450 °C
 - Atmosphäre: H2 (Taupunkt -50°C)
 - Haltezeit: 50 min
 - Dichte: 13,9 g/c3m (97 % der theoretischen Dichte)

A.2 Gebrauchsanweisung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Die Sinterparameter müssen je nach Sorte und Gerät angepasst werden.
- Es wird empfohlen, es mit einer HIP-Behandlung zu kombinieren, um Dichte und Leistung zu verbessern.



Anhang:

ASTM B657-16 Analyse der Mikrostruktur von Hartmetall

Vorwort

Diese Norm legt die Analysemethode der Mikrostruktur von Hartmetall fest und zielt darauf ab, diese Norm ist anwendbar auf die Hartmetallproduktion, Qualitätskontrolle, Mikrostrukturanalyse in Forschung und Anwendung.

Dieser Standard wurde von der American Society for Testing and Materials (ASTM) entwickelt und 2016 veröffentlicht. Er ersetzt ASTM B657-11

Version, die die Anforderungen der modernen Hartmetallindustrie mit der Entwicklung mikroanalytischer Techniken kombiniert.

Inhalt

1 Geltungsbereich

2 Normative Verweisungen

3 Begriffe und Definitionen

3.1 Hartmetall

3.2 Mikrostruktur

3.3 Binderphase

3.4 Porosität

3.5 Freier Kohlenstoff

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

4 Prüfmethoden

4.1 Grundsatz

4.2 Instrumente und Ausrüstung

4.3 Probenvorbereitung

4.4 Prüfschritte

4.5 Hinweise

5 Ergebnisauswertung

5.1 Mikrostrukturelle Eigenschaften

5.2 Einflussfaktoren

6 Prüfbericht

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt die Analyseverfahren der Mikrostruktur von Hartmetall unter Verwendung der metallografischen Mikroskop-Beobachtungsmethode fest, anwendbar auf Wolframkarbid (WC) als Hauptbestandteil und enthält ein Metallbindemittel (wie Kobalt). Die Methode umfasst Probenvorbereitung, mikroskopische Beobachtung, Beobachtung und Identifizierung mikrostruktureller Merkmale.

Diese Norm ist auf die Qualitätskontrolle, Leistungsbewertung und Mikrostrukturanalyse bei der Forschung an Hartmetallprodukten anwendbar.

Diese Norm ist nicht auf die mikrostrukturelle Analyse von Hartmetallbeschichtungen oder Hartmetallen auf Nicht-WC-Basis (wie Cermets) anwendbar.

Hinweis: Diese Norm betrifft keine Sicherheitsaspekte. Benutzer sollten die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen entsprechend den Versuchsbedingungen treffen.

2 Normative Verweisungen

Die Abschnitte in den folgenden Dokumenten werden durch Bezugnahme in diesem Standard zu Abschnitten dieses Standards.

Für jedes undatierte Dokument, auf das verwiesen wird, gilt die neueste Ausgabe (einschließlich aller Änderungen).

Dieser Standard.

- ASTM E3 Methoden zur Herstellung metallografischer Proben aus metallischen Werkstoffen
- ASTM E7 Standardterminologie für Metallographie
- ASTM E112-Methode zur Bestimmung der durchschnittlichen Korngröße

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Hartmetall

Ein Verbundwerkstoff, der durch Pulvermetallurgie aus Wolframkarbid (WC)-Partikeln und einem

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Metallbindemittel (z. B. Kobalt) hergestellt wird.

3.2 Mikrostruktur

Zu den strukturellen Eigenschaften von Hartmetall, die unter einem metallografischen Mikroskop beobachtet werden, gehören WC-Körner, Bindungsphasen und Defekte (wie Poren, freier Kohlenstoff).

3.3 Binderphase

Die Metallphase, die die WC-Partikel im Hartmetall verbindet, besteht normalerweise aus Kobalt (Co) und ist kontinuierlich oder halbkontinuierlich verteilt.

3.4 Porosität

Die winzigen Löcher im Hartmetall werden entsprechend ihrer Größe in Typ A (<10 µm), Typ B (10-25 µm) und Typ C unterteilt.
(bezogen auf freien Kohlenstoff).

3.5 Freier Kohlenstoff

Der Kohlenstoff im Hartmetall, der mit Metall keine Carbide bildet, ist in Form schwarzer Partikel verteilt.

4 Prüfmethoden

4.1 Grundsatz

Der polierte und geätzte Querschnitt des Hartmetalls wurde mit einem metallografischen Mikroskop untersucht, um WC-Körner, Binderphase, Poren und Mikrostrukturelle Eigenschaften wie freier Kohlenstoff.

4.2 Instrumente und Ausrüstung

- Metallurgisches Mikroskop: Vergrößerung 100x bis 1000x, Auflösung <0,5 µm.
- Poliergerät: Als Poliermittel wird Diamantpaste (Partikelgröße 1-3 µm) verwendet.
- Ätzmittel: Murakami-Reagenz (10 % KOH + 10 % K[Fe(CN)] in Wasser).
- Reinigungsgerät: Ultraschall-Reinigungsgerät mit Ethanol oder Aceton.

4.3 Probenvorbereitung

4.3.1 Um die Repräsentativität zu gewährleisten, sollten die Proben aus Hartmetallprodukten entnommen werden. Die Größe beträgt in der Regel 10 mm × 10 mm × 5 mm.

4.3.2 Schneiden Sie die Probe mit einer Diamantschneideklinge und einer Schnittgeschwindigkeit von <100 mm/min, um Risse oder thermische Schäden zu vermeiden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4.3.3 Die Probenoberfläche wurde nacheinander mit Schleifpapier (Körnung 400, 800, 1200) poliert und anschließend mit Diamantpaste poliert, bis die Oberfläche Rauheit $Ra < 0,1 \mu\text{m}$.

4.3.4 Reinigen Sie die Probe mit einem Ultraschallreiniger (Reinigungsdauer 5 Min.), um Oberflächenschmutz und Poliermittelrückstände zu entfernen.
Mit einem Staubtuch trocken wischen.

4.3.5 Ätzen Sie die Probenoberfläche mit Murakami-Reagenz (Ätzzeit 10-20 s), um die WC-Korngrenzen freizulegen und
Anschließend wurden die mikrostrukturellen Merkmale mit destilliertem Wasser gespült und getrocknet.

4.4 Prüfschritte

4.4.1 Legen Sie die Probe unter ein metallografisches Mikroskop, stellen Sie die Vergrößerung ein (normalerweise 500 -fach) und beobachten Sie die Mikrostruktur.

4.4.2 Wählen Sie nach dem Zufallsprinzip 5 Sichtfelder aus (jedes Sichtfeld hat eine Fläche von ungefähr $0,1 \text{ mm}^2$) und notieren Sie die folgenden Eigenschaften:

- WC-Korngröße und -Verteilung.
- Verteilung und Morphologie der Bindephase.
- Art und Anzahl der Poren (Typ A, Typ B, Typ C).
- Vorhandensein und Verteilung von freiem Kohlenstoff.

4.4.3 Vergleichen Sie mit dem Standard-Mikrostrukturatlas und bewerten Sie die mikrostrukturellen Eigenschaften.

4.5 Hinweise

- Die Ätzzeit muss streng kontrolliert werden. Eine zu lange Ätzzeit kann zu unscharfen Korngrenzen führen, während eine zu kurze Ätzzeit möglicherweise die Strukturmerkmale nicht sichtbar macht.
- Stellen Sie sicher, dass sich genügend Körner (>100) im Sichtfeld befinden, um die statistische Genauigkeit zu verbessern.
- Bei ungleichmäßig verteilter Mikrostruktur die Anzahl der Felder auf 10 erhöhen.

5 Ergebnisauswertung

5.1 Mikrostrukturelle Eigenschaften

- WC-Körner: Korngröße bewerten (ultrafeine Körner $< 0,5 \mu\text{m}$, feine Körner $0,5-1,0 \mu\text{m}$, mittlere Körner $1,0-2,0 \mu\text{m}$, Grobkörnigkeit $> 2,0 \mu\text{m}$) und Verteilungsgleichmäßigkeit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Bindephase: beschreibt die Kontinuität der Kobaltphase (homogen, diskontinuierlich oder agglomeriert).
- Porosität: klassifiziert in Typ A, Typ B und Typ C und bewertet (A00: keine Poren vom Typ A; A02: <2 Feld; B00: keine Poren vom B-Typ; C00: keine Poren vom C-Typ).
- Freier Kohlenstoff: Bewerten Sie das Vorhandensein und die Verteilung (C00: kein freier Kohlenstoff; C02: <2 pro Sichtfeld).

5.2 Einflussfaktoren

Die Mikrostruktur beeinflusst die mechanischen und physikalischen Eigenschaften von Hartmetall:

- Eine kleinere Korngröße erhöht im Allgemeinen die Härte und Verschleißfestigkeit, kann aber die Zähigkeit verringern.
- Eine erhöhte Porosität kann die Festigkeit und Haltbarkeit verringern.
- Übermäßiger freier Kohlenstoff kann zur Versprödung des Materials führen.

6 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

- Probennummer und Quelle (z. B. Materialmarke, Produktionscharge).
- Datum des Tests und wer den Test durchgeführt hat.
- Versuchsbedingungen: Mikroskopvergrößerung, Anzahl der Sichtfelder, Ätzbedingungen.
- Testergebnisse:
 - Beschreibung der WC-Korngröße und -Verteilung.
 - Morphologie der Bindephase.
 - Porosität und freier Kohlenstoffgehalt.
- Beschreibung abnormaler Zustände (wie etwa Oberflächendefekte der Probe, Schwierigkeiten bei der Beobachtung usw.).
- Unterschrift der Prüfstelle und des Prüfverantwortlichen.

Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Mikrostrukturmerkmale

- Ultrafeine Kornstruktur: Korngröße <0,5 µm, gleichmäßig verteilt und durchgehende Bindephase.
- Porentypen: Typ A (<10 µm), Typ B (10-25 µm), Typ C (schwarz körnig).
- Freier Kohlenstoff: schwarzes Granulat, oft mit Poren vom Typ C.

A.2 Gebrauchsanweisung

- Diese Norm dient nur der mikrostrukturellen Identifizierung und ist nicht als Abnahmespezifikation für Hartmetallsorten gedacht.
- Hersteller und Anwender können auf Basis mikrostruktureller Informationen eigene Spezifikationen entwickeln.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

GB/T 3850-2015

Bestimmung der theoretischen Dichte von Hartmetall

Vorwort

Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung der theoretischen Dichte von Hartmetall fest und zielt darauf ab,

Diese Norm ist anwendbar auf die Hartmetallproduktion, Qualitätskontrolle, Theoretische Dichtebestimmung in Forschung und Anwendung.

Dieser Standard wurde von der Standardization Administration of China entwickelt und 2015 herausgegeben. Er ersetzt GB/T 3850-1983.

Version, die die Anforderungen der modernen Hartmetallindustrie mit der Entwicklung der Technologie zur theoretischen Dichteberechnung kombiniert.

Inhalt

1 Geltungsbereich

2 Normative Verweisungen

3 Begriffe und Definitionen

3.1 Theoretische Dichte

3.2 Hartmetall

3.3 Kristallstruktur

3.4 Massenanteil

4 Prüfmethoden

4.1 Grundsatz

4.2 Instrumente und Ausrüstung

4.3 Probenvorbereitung

4.4 Prüfschritte

4.5 Hinweise

5 Berechnungsmethode

5.1 Berechnungsformel

5.2 Theoretische Dichte jeder Phase

5.3 Berechnungsschritte

6 Ergebnisauswertung

7 Prüfbericht

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Verfahren zur Bestimmung der theoretischen Dichte von Hartmetall fest und ist anwendbar auf Hartmetall mit Wolframkarbid (WC) als Hauptbestandteil und mit Hartmetall mit einem Metallbinder wie Kobalt. Die Methode beinhaltet die Berechnung der theoretischen Dichte anhand von Zusammensetzungsanalysen und Kristallstrukturdaten.

Grad und experimentell verifizierte Hilfsmethoden.

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

Diese Norm ist auf die Qualitätskontrolle, Leistungsbewertung und theoretische Dichtebestimmung in der Forschung während der Hartmetallproduktion anwendbar.

Diese Norm ist nicht anwendbar auf die Bestimmung der theoretischen Dichte von Hartmetallbeschichtungen oder Hartmetallen auf Nicht-WC-Basis (wie Cermets).

2 Normative Verweisungen

Die Abschnitte in den folgenden Dokumenten werden durch Bezugnahme in diesem Standard zu Abschnitten dieses Standards.

Für jedes undatierte Dokument, auf das verwiesen wird, gilt die neueste Ausgabe (einschließlich aller Änderungen).

Dieser Standard.

- GB/T 3848-2015 Bestimmung der chemischen Zusammensetzung von Hartmetall
- GB/T 4499-2008 Metallografisches Prüfverfahren für Hartmetall
- GB/T 3327-2009 Bestimmung der Dichte von Hartmetall

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen.

3.1 Theoretische Dichte

Die ideale Dichte wird anhand der chemischen Zusammensetzung und Kristallstruktur des Hartmetalls in g/cm^3 berechnet.

3.2 Hartmetall

Ein Verbundwerkstoff, der durch Pulvermetallurgie aus Wolframcarbid (WC)-Partikeln und einem Metallbindemittel (z. B. Kobalt) hergestellt wird.

3.3 Kristallstruktur

Die atomare Anordnung jeder Phase (wie WC und Co) in Hartmetall wird normalerweise durch Röntgenbeugung (XRD) bestimmt.

3.4 Massenanteil

Der prozentuale Anteil der Masse einer bestimmten Komponente im Hartmetall an der Gesamtmasse in %.

4 Prüfmethoden

4.1 Grundsatz

Die theoretische Dichte wird aus der chemischen Zusammensetzung des Hartmetalls und den Kristallstrukturdaten jeder Phase berechnet.

Die Dichte jeder Phase wird anhand der bekannten Kristallstrukturparameter bestimmt.

4.2 Instrumente und Ausrüstung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Röntgendiffraktometer (XRD): wird zur Bestimmung der Kristallstrukturparameter verwendet.
- Gerät zur chemischen Analyse: Wird zur Bestimmung der Zusammensetzung von Hartmetall verwendet (z. B. der Massenanteil von WC und Co).
- Computerausrüstung: wird zur Berechnung der theoretischen Dichte verwendet.

4.3 Probenvorbereitung

4.3.1 Um die Repräsentativität zu gewährleisten, sollten die Proben aus Hartmetallprodukten entnommen werden. Die Größe beträgt in der Regel $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 5\text{ mm}$.

4.3.2 Die Oberfläche der Probe sollte sauber und frei von Öl oder anderen Verunreinigungen sein.

4.3.3 Wenn eine XRD-Analyse erforderlich ist, sollte die Probenoberfläche auf eine Rauheit $Ra < 0,1\text{ }\mu\text{m}$ poliert werden.

4.4 Prüfschritte

4.4.1 Komponentenanalyse:

- Bestimmen Sie den Massenanteil jeder Komponente im Hartmetall (wie WC, Co und seine andere Spurenelemente).
- Erfassen Sie den Massenanteil jeder Komponente mit einer Genauigkeit von 0,01 %.

4.4.2 Kristallstrukturbestimmung:

- XRD wurde verwendet, um die Kristallstrukturparameter (wie das Elementarzellenvolumen) von WC und Co in Hartmetall zu bestimmen.
- Bestätigen Sie die hexagonale Struktur von WC ($a=2,906\text{ }\text{\AA}$, $c=2,837\text{ }\text{\AA}$) und die kubisch-flächenzentrierte Struktur von Co ($a=3,544\text{ }\text{\AA}$).
- Wenn weitere Phasen (z. B. Phasen) existieren, müssen auch deren Kristallstrukturen bestimmt werden.

4.4.3 Berechnung der theoretischen Dichte:

- Berechnen Sie die theoretische Dichte basierend auf den Zusammensetzungs- und Kristallstrukturdaten (Details siehe Abschnitt 5).

4.5 Hinweise

- Die Zusammensetzungsanalyse sollte mindestens dreimal wiederholt und der Durchschnitt ermittelt werden, um die Genauigkeit zu verbessern.
- XRD-Messungen sollten unter spannungsfreien Bedingungen durchgeführt werden, um eine durch die Probenverarbeitung verursachte Gitterverzerrung zu vermeiden.
- Wenn im Hartmetall Spuren von Verunreinigungen vorhanden sind, muss deren Auswirkung auf

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

die theoretische Dichte bewertet werden.

5 Berechnungsmethode

5.1 Berechnungsformel

Die theoretische Dichte (ρ) von Hartmetall wird nach folgender Formel berechnet:

$$\rho = \frac{\sum (w_i \cdot \rho_i)}{\sum w_i}$$

In:

- ρ : theoretische Dichte von Hartmetall in g/cm³;
- w_i : Massenanteil des i-ten Komponente, Einheit: %
- ρ_i : theoretische Dichte des i-ten Komponente, in g/cm³.

5.2 Theoretische Dichte jeder Phase

- Theoretische Dichte von WC: 15,63 g/cm³ (basierend auf den Parametern der hexagonalen Elementarzelle).
- Theoretische Dichte von Co: 8,90 g/cm³ (basierend auf den Parametern der kubisch-flächenzentrierten Elementarzelle).
- Wenn andere Phasen vorhanden sind (z. B. Phasen, typischerweise CoWC), muss ihre theoretische Dichte basierend auf der Kristallstruktur berechnet werden.

5.3 Berechnungsschritte

w_i) jeder Komponente.

i) jeder Komponente.

5.3.3 Setzen Sie in die Formel ein und berechnen Sie die theoretische Dichte von Hartmetall.

6 Ergebnisauswertung

6.1 Die berechnete theoretische Dichte sollte auf 0,01 g/cm³ genau sein.

6.2 Wenn die tatsächliche Dichte (gemessen nach GB/T 3327-2009) stark von der theoretischen Dichte abweicht (>2 %), muss das Produkt überprüft werden.
analytische oder Kristallstrukturdaten.

6.3 Die theoretische Dichte kann zur Beurteilung der Kompaktheit und Qualitätsstabilität eines Materials verwendet werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

7 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

- Probennummer und Quelle (z. B. Materialmarke, Produktionscharge).
- Datum des Tests und wer den Test durchgeführt hat.
- Versuchsbedingungen: Methode zur Zusammensetzungsanalyse, XRD-Parameter.
- Testergebnisse:
 - Massenanteil jeder Komponente.
 - Kristallstrukturparameter jeder Phase.
 - Ergebnisse der theoretischen Dichteberechnung.
- Erklärung ungewöhnlicher Situationen (wie etwa Auswirkungen von Verunreinigungen, Datenabweichungen usw.).
- Unterschrift der Prüfstelle und des Prüfverantwortlichen.

Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Beispiel für die Berechnung der theoretischen Dichte

- Marke: YG8 (enthält 8 % Kobalt)
- Zusammensetzung: WC 92 %, Co 8 % (Massenanteil).
- Theoretische Dichte von WC: 15,63 g/cm³.
- Theoretische Dichte von Co: 8,90 g/cm³.
- berechnen:

$$\rho = \frac{(92 \times 15.63) + (8 \times 8.90)}{92 + 8} = \frac{1437.96 + 71.20}{100} = 15.09 \text{ g/cm}^3$$

结果: 理论密度为 15.09 g/cm³.

- Ergebnis: Die theoretische Dichte beträgt 15,09 g/cm³.

- Marke: YG15 (enthält 15 % Kobalt)
- Zusammensetzung: WC 85 %, Co 15 % (Massenanteil).
- Theoretische Dichte von WC: 15,63 g/cm³.
- Theoretische Dichte von Co: 8,90 g/cm³.
- berechnen:

计算:

$$\rho = \frac{(85 \times 15.63) + (15 \times 8.90)}{85 + 15} = \frac{1328.55 + 133.50}{100} = 14.62 \text{ g/cm}^3$$

- Ergebnis: Die theoretische Dichte beträgt 14,62 g/cm³.

A.2 Gebrauchsanweisung

- Um die Genauigkeit der Komponentenanalyse sicherzustellen, ist eine theoretische Dichteberechnung erforderlich.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Wenn im Hartmetall Spurenphasen (z. B. Phase) vorhanden sind, sollte die Berechnung anhand der Kristallstruktur ergänzt werden.



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

GB/T 1031-2009 Oberflächenrauheitsmessung

Vorwort

Diese Norm legt das Messverfahren für die Oberflächenrauheit fest und dient der Bewertung der Oberflächenrauheit von Metallen, Nichtmetallen und Verbundwerkstoffen.

anwendbar zur Messung der Oberflächenrauheit in Produktion, Qualitätskontrolle, Forschung und Anwendung.

Menge.

Dieser Standard wurde von der Standardization Administration of China entwickelt und 2009 herausgegeben und ersetzt GB/T 1031-1995

Version, die die Anforderungen moderner Oberflächenmesstechnik und internationaler Standards wie ISO 4287:1997 vereint.

Inhalt

1 Geltungsbereich

2 Normative Verweisungen

3 Begriffe und Definitionen

3.1 Oberflächenrauheit

3.2 Arithmetische Mittelabweichung (Ra)

3.3 Maximale Höhe (Rz)

3.4 Abtastlänge

4 Messmethoden

4.1 Messprinzip

4.2 Instrumente und Ausrüstung

4.3 Messschritte

4.4 Hinweise

5 Messbedingungen

5.1 Umgebungsbedingungen.

5.2 Messparameter

5.3 Gerätekonfiguration

6 Ergebnisauswertung

7 Prüfbericht

1 Geltungsbereich

Diese Norm legt das Messverfahren für die Oberflächenrauheit fest und ist auf Metalle (wie Hartlegierungen, Stahl), nichtmetallische Werkstoffe und Beschichtungen anwendbar.

Die Rauheitsparameter der Schichtoberfläche werden gemessen. Die Methoden umfassen Kontaktprofilometer und berührungslose Messtechniken und decken Ra, Rz, Parameter wie Rp.

Diese Norm ist anwendbar für die Qualitätskontrolle im Produktionsprozess, die Bewertung der

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

Oberflächenleistung und die Rauheitsmessung in der Forschung.

Diese Norm gilt nicht für Oberflächen mit erheblichen Riffelungen oder makroskopischen geometrischen Abweichungen, sofern nicht anders angegeben.

2 Normative Verweisungen

Die Abschnitte in den folgenden Dokumenten werden durch Bezugnahme in diesem Standard zu Abschnitten dieses Standards.

Für jedes undatierte Dokument, auf das verwiesen wird, gilt die neueste Ausgabe (einschließlich aller Änderungen).

Dieser Standard.

- GB/T 6060.1-1996 Begriffe, Definitionen und Parameter zur Oberflächenrauheit
- GB/T 6062-2006 Oberflächenrauheitsvergleichsproben
- ISO 4287:1997 Geometrische Produktspezifikationen (GPS) – Oberflächentextur: Profilmethode – Begriffe, Definitionen und Parameter

3 Begriffe und Definitionen

Für diesen Standard gelten die folgenden Begriffe und Definitionen, Einzelheiten finden Sie in GB/T 6060.1-1996.

3.1 Oberflächenrauheit

Durch die Bearbeitungsmethode bedingte Abweichungen in der Mikrogeometrie der Oberfläche, die sich in kleinen Abweichungen in der Teilung und Höhe äußern.

3.2 Arithmetische Mittelabweichung (Ra)

Die arithmetische mittlere Abweichung des Profils ist der Hauptparameter der Oberflächenrauheit und ihre Einheit ist μm .

3.3 Maximale Höhe (Rz)

Die maximale Höhe des Profils ist ein zusätzlicher Parameter der Oberflächenrauheit und hat die Einheit μm .

3.4 Abtastlänge

Eine Referenzlänge zur Rauheitsmessung, normalerweise 0,25 mm, 0,8 mm oder 2,5 mm.

4 Messmethoden

4.1 Messprinzip

Messen Sie das Oberflächenprofil und analysieren Sie die Rauheitsparameter (wie Ra, Rz) mit einem Kontaktprofilometer oder einem berührungslosen optischen Instrument.

4.2 Instrumente und Ausrüstung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

- Kontaktprofilometer: Radius der Sondenspitze $< 2 \mu\text{m}$, Auflösung $0,01 \mu\text{m}$.
- Berührungslose Messinstrumente: wie Laserscanner oder Weißlichtinterferometer, mit einer Auflösung von $< 0,1 \mu\text{m}$.
- Standardproben: bereitgestellt gemäß GB/T 6062-2006, verwendet für die Instrumentenkalibrierung.

4.3 Messschritte

4.3.1 Probenvorbereitung:

- Die Probenoberfläche sollte sauber und frei von Öl oder Staub sein.
- Eventuelle Bearbeitungsrückstände müssen mit Schleifpapier oder Lösungsmittel entfernt werden.

4.3.2 Kalibrierung des Geräts:

- Verwenden Sie Standardproben zur Kalibrierung des Instruments, um einen Messfehler von $< 5 \%$ sicherzustellen.

4.3.3 Durchführung der Messung:

- Bestimmen Sie die Probenentnahmelänge ($0,25 \text{ mm}$, $0,8 \text{ mm}$ oder $2,5 \text{ mm}$), abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit.
- 5 oder mehr Messpunkte auf der Probe und Messung entlang der Verarbeitungsrichtung oder senkrecht dazu.
- Notieren Sie Parameter wie R_a und R_z , messen Sie jeden Punkt dreimal und ermitteln Sie den Durchschnittswert.

4.4 Hinweise

- Vermeiden Sie einen Überdruck in der Sonde, um eine Beschädigung der Oberfläche zu verhindern.
- Der Messpunkt sollte Kanten oder offensichtliche Defektbereiche vermeiden.
- Wenn die Oberfläche beschichtet ist, bestätigen Sie die Messtiefe.

5 Messbedingungen

5.1 Umgebungsbedingungen

- Temperatur: $20 \pm 2^\circ\text{C}$.
- Luftfeuchtigkeit: 30% – 70% .
- Vermeiden Sie Vibrationen oder Störungen des Luftstroms.

5.2 Messparameter

- Probenlänge: Auswahl entsprechend dem R_a -Wertebereich ($R_a < 0,1 \mu\text{m}$: $0,25 \text{ mm}$; $0,1 \mu\text{m} < R_a < 10 \mu\text{m}$: $0,8 \text{ mm}$; $R_a > 10 \mu\text{m}$: $2,5 \text{ mm}$).
- Auswertungslänge: 5-fache Abtastlänge.
- Grenzwellenlänge: $0,25 \text{ mm}$, $0,8 \text{ mm}$ oder $2,5 \text{ mm}$, passend zur Probenlänge.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

5.3 Gerätekonfiguration

- Sondengeschwindigkeit: 0,1–1 mm/s.
- Messkraft: <0,75 mN (Kontakt).

6 Ergebnisauswertung

6.1 Der Rauheitsparameter sollte auf 0,01 μm genau sein.

6.2 Die zulässige Abweichung der Ra- und Rz-Werte beträgt $\pm 10\%$ oder $\pm 0,1\ \mu\text{m}$ (je nachdem, welcher Wert größer ist).

6.3 Wenn die Differenz zwischen mehreren Messergebnissen die zulässige Abweichung überschreitet, ist es notwendig, den Oberflächenzustand der Probe oder die Kalibrierung des Instruments zu überprüfen.

7 Prüfbericht

Der Prüfbericht sollte Folgendes enthalten:

- Probennummer und Quelle (z. B. Materialmarke, Produktionscharge).
- Datum des Tests und wer den Test durchgeführt hat.
- Messbedingungen: Instrumententyp, Probenahmelänge, Umgebungsbedingungen.
- Messergebnisse:
 - Ra- und Rz-Werte an jedem Messpunkt.
 - Mittelwert und Abweichung.
- Beschreibung abnormaler Zustände (wie Oberflächendefekte, Instrumentenfehler usw.).
- Unterschrift der Prüfstelle und des Prüfverantwortlichen.

Anhang A (Informativer Anhang)

A.1 Beispiele für Messparameter

- Probe: Hartmetall YG6
 - Messmethode: Kontaktprofilometer.
 - Probenlänge: 0,8 mm.
 - Messpunkte: 5 .
 - Ergebnis: Ra = 0,32 μm , Rz = 2,15 μm (Durchschnittswert).
- Beispiel: Edelstahloberfläche
 - Messmethode: berührungsloser Laserscanner.
 - Probenlänge: 2,5 mm.
 - Messpunkte: 6 .
 - Ergebnis: Ra = 1,25 μm , Rz = 8,90 μm (Durchschnittswert).

A.2 Gebrauchsanweisung

- Wählen Sie die geeignete Probenlänge und Grenzwellenlänge, um sie an die

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Oberflächeneigenschaften anzupassen.

- Bei hohen Genauigkeitsanforderungen kann die Anzahl der Messpunkte auf 10 erhöht werden.

Welche Hartmetall-Pressstechnologien gibt es ?

Die Hartmetall-Pressstechnologie ist ein zentrales Element der Pulvermetallurgie. Durch das Pressen von Pulverrohstoffen wie Wolframkarbid (WC) und Kobalt (Co) unter einem bestimmten Druck entsteht ein Rohling mit anfänglicher Festigkeit und Form, der die Grundlage für das anschließende Sintern und die Weiterverarbeitung zum Endprodukt bildet. Der Pressvorgang beeinflusst direkt die Dichte, Gleichmäßigkeit und Fehlerquote des Rohlings, was wiederum die Eigenschaften des gesinterten Materials (wie Härte, Verschleißfestigkeit und Zähigkeit) bestimmt. Im Folgenden finden Sie eine detaillierte Beschreibung der Hartmetall-Pressstechnologie und ihrer technischen Details. Dabei werden traditionelle Methoden und moderne innovative Technologien berücksichtigt und praktische Anwendungen sowie aktuelle Trends umfassend erläutert.

1. Uniaxiales Pressen

Prinzip

Beim unidirektionalen Pressen wird mit einer unidirektionalen hydraulischen oder mechanischen Presse vertikaler Druck nach unten ausgeübt. Dabei wird das in eine starre Form eingefüllte Pulver mit dem oberen Druckkopf zu einem Grünkörper komprimiert. Der Druck wird hauptsächlich entlang einer Achse übertragen, und die Formgebung erfolgt durch die Reibung zwischen den Pulverpartikeln und der Formwand.

Ausrüstung:

Hydraulische Presse: Druckbereich 100–400 MPa, ausgestattet mit Präzisionsdrucksensor und Wegüberwachungssystem.

Form : Normalerweise aus hochhartem Stahl (wie Cr12MoV) oder Hartmetall hergestellt, muss die Innenwand auf Ra <0,2 µm poliert werden , um die Reibung zu verringern.

Merkmale:

Geeignet zur Herstellung einfacher geometrischer Formen, wie etwa zylindrischer Werkzeugrohlinge und rechteckiger Blöcke.

Die Dichteverteilung ist ungleichmäßig, mit höherer Dichte in der Nähe des Druckkopfes (bis zu 60–70 % der theoretischen Dichte) und geringerer Dichte am Boden (möglicherweise weniger als 50 %), was nach dem Sintern zu ungleichmäßiger Schrumpfung führen kann.

Die Presszeit beträgt üblicherweise 5–15 Sekunden, abhängig von der Pulverpartikelgröße und dem Druck.

Anwendung:

Kleine Hartmetallteile, wie Bohrerrohlinge, Schneideinsatz-Vorformen.

Kostengünstige Massenproduktion, besonders geeignet für kleine und mittlere Unternehmen.

Technische Details:

Pulveraufbereitung: Die WC-Partikelgröße beträgt üblicherweise 0,5–2 µm , der Co-Gehalt beträgt 6–15 % und zur Verbesserung der Fließfähigkeit müssen 1–3 % Paraffin oder Stearinsäure als

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Schmiermittel hinzugefügt werden.

Druckregelung: Zunächst Vordruck von 10–50 MPa zur Luftentfernung, anschließend Hauptdruck von 100–400 MPa. Vermeiden Sie zu schnelles Laden, um eine Pulverschichtung zu vermeiden.

Notiz:

Die Reibung an den Formwänden kann zu einer unzureichenden Querdichte führen. Es wird empfohlen, die Pulverpartikelgrößenverteilung zu optimieren oder die Quervibrationsunterstützung zu erhöhen.

Beim Entformen des Rohlings muss der Druck langsam abgelassen werden, um eine Rissbildung zu vermeiden.

2. Doppeltwirkendes Pressen

Prinzip:

Beim bidirektionalen Pressen werden zwei obere und untere Druckköpfe gleichzeitig eingesetzt, um Druck auszuüben. Durch die Auf- und Abbewegung in der Form wird das Pulver verdichtet. Die oberen und unteren Druckköpfe arbeiten koordiniert, um den Dichtegradienten beim unidirektionalen Pressen zu reduzieren.

Ausrüstung:

Doppeltwirkende Hydraulikpresse: Druckbereich 150–500 MPa, ausgestattet mit Synchronsteuerungssystem.

Form : Bidirektional bewegliches Design, stellt sicher, dass der Spalt zwischen den oberen und unteren Druckköpfen und der Innenwand der Form weniger als 0,01 mm beträgt.

Merkmale:

Die Dichteverteilung des Grünkörpers ist gleichmäßiger, und die Dichte im Mittelteil kann 65–75 % der theoretischen Dichte erreichen. Die Gesamtkonsistenz ist besser als beim unidirektionalen Pressen.

Geeignet für Teile mit größeren oder mittelgroßen komplexen Formen, wie etwa Platten und Stangen.

Der Presszyklus beträgt je nach Höhe des Rohlings 10–20 Sekunden.

Anwendung:

Produzieren Sie Hartmetallstangen und -platten zur Herstellung von Schneidwerkzeugen und verschleißfesten Teilen.

Mittelgroße Produktion unter Berücksichtigung von Effizienz und Qualität.

Technische Details:

Druckverteilung: Das Druckverhältnis zwischen oberer und unterer Druckhöhe beträgt üblicherweise 1:1, mit einer maximalen Abweichung von <5 %, um eine Gleichmäßigkeit zu gewährleisten.

Formschmierung: Die Innenwand wird mit einer Graphit- oder MoS₂-Schmierschicht beschichtet,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

um die Reibung auf 0,1–0,2 zu reduzieren.

Notiz:

Die Synchronisierung des Druckkopfes muss durch ein hochpräzises Servosystem gesteuert werden, um eine ungleichmäßige Belastung zu vermeiden.

Bei Pulvern mit hohem Co-Gehalt (>12 %) muss die Vorpresszeit verlängert werden, um Poren zu beseitigen.

3. Kaltisostatisches Pressen (CIP)

Prinzip:

Beim kaltisostatischen Pressen wird ein flüssiges Medium (z. B. Wasser oder Öl) verwendet, um in alle Richtungen gleichmäßigen Druck auf eine flexible, mit Pulver gefüllte Form in einem Hochdruckbehälter auszuüben. Der Druck wird gleichmäßig durch die Flüssigkeit übertragen, sodass alle Teile des Rohlings einer gleichmäßigen Kraft ausgesetzt sind.

Ausrüstung:

Kaltisostatische Presse: Druckbereich 200–600 MPa, Arbeitstemperatur von Raumtemperatur bis 50 °C.

Form : Hergestellt aus Gummi oder Polymermaterial, die Druckfestigkeit muss das 1,5-fache des Arbeitsdrucks erreichen.

Merkmale:

Die Grünkörperdichte ist äußerst gleichmäßig und erreicht 70–80 % der theoretischen Dichte und eignet sich für komplexe geometrische Formen.

Die Presszeit beträgt je nach Rohlingsgröße und Druck 5-15 Minuten.

Der grüne Block weist eine höhere Festigkeit und eine gleichmäßige Sinterschrumpfung auf.

Anwendung:

Komplex geformte Hartmetallprodukte, wie etwa speziell geformte Werkzeuge und Präzisionsformen.

Herstellung von Hochleistungsteilen, insbesondere im Luft- und Raumfahrtbereich.

Technische Details:

Pulverfüllung: Die Pulverfülldichte wird auf 40–50 % kontrolliert, Blasen werden vermieden und eine Vakuumentgasung ist erforderlich.

Druckverlauf: Durch stufenweise Druckerhöhung (z. B. 50 MPa Vordruck und anschließende Erhöhung auf 400 MPa) können Sie die inneren Spannungen reduzieren.

Notiz:

Die Dichtheit der Form ist entscheidend, Leckagen können zu unzureichendem Druck führen.

Nach dem Pressen muss das überschüssige Gummimaterial abgeschnitten werden, was die nachfolgenden Verarbeitungsschritte verlängert.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Heißisostatisches Pressen (HIP)

Prinzip

Heißisostatisches Pressen ist ein Verfahren, bei dem ein Inertgas (z. B. Argon) verwendet wird, um bei hoher Temperatur (1350–1450 °C) und hohem Druck (100–200 MPa) isotropen Druck auszuüben, um nach dem Sintern Mikroporen im Grünkörper zu beseitigen.

Ausrüstung:

Heißisostatische Presse: Ausgestattet mit einem Heizofen und einem Hochdruckgassystem wird die Genauigkeit auf ± 5 °C und ± 5 MPa geregelt.

Merkmale:

Die Dichte kann 99 % der theoretischen Dichte erreichen, wodurch die Härte und Verschleißfestigkeit deutlich verbessert werden.

Geeignet für eine Nachsinterbehandlung zur Beseitigung der Porosität auf das Niveau A00-B00.

Der Zyklus ist länger, 4–8 Stunden, und umfasst Erhitzen, Druckbeaufschlagung und Abkühlen.

Anwendung:

Hochleistungs-Hartmetalleile für die Luft- und Raumfahrt, wie beispielsweise Turbinenschaufeln. Präzisionsschneidwerkzeuge erfordern eine extrem hohe Dichte.

Technische Details:

Temperaturregelung: Heizrate 5-10°C/min zur Vermeidung thermischer Spannungsrisse.

Gasreinheit: Argonreinheit >99,99 %, Oxidation vermeiden.

Notiz:

Hohe Kosten, geeignet für High-End-Produkte.

Die Abkühlrate muss genau kontrolliert werden (5–15 °C/min), um Verformungen zu vermeiden.

5. Matrizenpressen

Prinzip

Das Pulver wird in eine feste, starre Form gefüllt und je nach Geometrie der Form durch unidirektionales oder bidirektionales Pressen geformt.

Ausrüstung:

Formmaschine: Druckbereich 100–300 MPa, ausgestattet mit automatischem Zuführsystem.

Form : Kundenspezifisches Design, Härte über HRC 58.

Merkmale:

Massenproduktion von Rohlingen einfacher Form, hohe Effizienz, Zykluszeit 5–10 Sekunden.

Die Gleichmäßigkeit der Dichte hängt vom Formendesign ab, die typische Dichte beträgt 60–70 % der theoretischen Dichte.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendung:

Standardisierte Hartmetallteile wie Schneidplatten und Fräserrohlinge.

Kostengünstige Produktion.

Technische Details:

Matrizenwartung: Alle 500 Pressvorgänge auf Verschleiß prüfen und bei Bedarf nachschleifen oder ersetzen.

Pulverfüllung: Es wird eine Vibrationsfüllung verwendet und die Dichteabweichung beträgt <2 %.

Notiz:

Die komplexe Form der Gussform ist schwierig zu verarbeiten und die Spannungsverteilung muss im Voraus simuliert werden.

6. Strangpressen

Prinzip:

Das Pulver wird mit einem Bindemittel zu einer Paste vermischt und durch einen Extruder und eine spezielle Düse zu langen Streifen oder Formkörpern extrudiert.

Ausrüstung:

Extruder: Druck 200–400 MPa, ausgestattet mit Heizsystem (50–80 °C).

Merkmale:

Geeignet für lange und dünne Formen, wie Stäbe (2–20 mm Durchmesser), Rohre.

Die Dichte beträgt ca. 55%-65% der theoretischen Dichte und erfordert eine anschließende Entfettung.

Die Zykluszeit beträgt je nach Extrusionslänge 10–30 Minuten.

Anwendung:

Hartmetall-Langfräser und Bohrstangen.

Kundenspezifische Langteile.

Technische Details:

Bindemittelverhältnis: PVA oder PMMA machen 15–25 % aus und müssen gleichmäßig verteilt werden.

Extrusionsgeschwindigkeit: 0,5–2 m/min. Zu hohe Geschwindigkeiten können zu Oberflächenrissen führen.

Hinweis: Die Entfettungstemperatur sollte bei 300–500 °C liegen und die Heizrate sollte <5 °C/min betragen.

7. Spritzguss

Prinzip:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Das Pulver wird mit einem thermoplastischen Bindemittel vermischt, auf 150–200 °C erhitzt, in eine hochpräzise Form gespritzt und dann zum Formen abgekühlt.

Ausrüstung:

Metallspritzgussmaschine: Druck 50–100 MPa, ausgestattet mit Einspritzsystem.

Merkmale:

Geeignet für komplexe kleine Teile mit einer Anfangsdichte von 50–60 % und bis zu 98 % nach dem Sintern.

Der Zyklus ist länger, 10–20 Minuten/Artikel.

Anwendung:

Mikrokarbidteile, wie Präzisionszahnräder und Mikrowerkzeuge.

Technische Details:

Entbinderung: Zwei Schritte, thermische Entbinderung bei 200–400 °C und chemische Entbinderung bei 400–600 °C.

Formgenauigkeit : Toleranz <0,01 mm.

Notiz:

Bindemittelrückstände können Sinterfehler verursachen und müssen streng kontrolliert werden.

8. Trockensackpressen

Prinzip:

Das Pulver wird in eine feste Gummi-form gefüllt und durch ein flüssiges Medium wird Druck ausgeübt, ähnlich wie bei CIP, aber die Form ist fest.

Ausrüstung:

Trockensack-Isostatische Presse: Druck 200–400 MPa.

Merkmale:

Gute Dichtegleichmäßigkeit, 70 %–75 % theoretische Dichte.

Der Zyklus dauert 5–10 Minuten.

Anwendung:

Mittelgroße Hartmetallteile wie z. B. Lagerhülsen.

Technische Details: Die Form muss regelmäßig auf Druckbeständigkeit geprüft werden.

Notiz:

Vermeiden Sie ungleichmäßigen Druck, der durch Alterung der Form verursacht wird.

9. Multidirektionales Pressen (seitliches Pressen)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Prinzip:

Zusätzlich zum vertikalen Druckkopf werden zwei bis vier seitliche Druckköpfe hinzugefügt, um horizontalen Druck auszuüben und so eine multidirektionale Kompression zu erzeugen. Der Druck wird durch ein Präzisionskontrollsystem koordiniert, um sicherzustellen, dass alle Teile des Embryos im Gleichgewicht sind.

Ausrüstung:

Mehrdirektionale Pressmaschine: Druckbereich 200–500 MPa, ausgestattet mit 4–6 einstellbaren Druckköpfen.

Form : In mehrere Richtungen bewegliches Design, mit Hartmetallauskleidung, Verschleißfestigkeit HRA 88 oder höher.

Merkmale:

Die Dichteverteilung ist deutlich besser als beim bidirektionalen Pressen und die durchschnittliche Dichte kann 75–80 % der theoretischen Dichte erreichen.

Geeignet für mittelkomplexe Formen, reduziert innere Porosität und Spannungskonzentrationen.

Die Presszeit beträgt 10–20 Sekunden, abhängig von der Anzahl der Pressköpfe und der Größe des Embryos.

Anwendung:

Komplexe Werkzeugrohlinge, Formrohlinge und Teile, die eine hohe Gleichmäßigkeit erfordern.

Technische Details:

Druckverteilung: Der vertikale Druck beträgt 50–60 %, der seitliche Druck 40–50 % und die Abweichung beträgt <3 %.

Pulveroptimierung: Partikelgröße 1–2 μm , Zugabe von 0,5–1 % Graphitschmierung.

Notiz:

Die seitliche Druckkopfsynchronisierung muss durch einen Servomotor mit einem Fehler von <0,5 mm gesteuert werden.

Die Innenwand der Form muss beschichtet werden, um die Reibung auf 0,15 zu reduzieren.

10. Multiaxiales nicht-isostatisches Pressen (z. B. Vier- und Sechswegpressen)

Prinzip:

Der nicht-isotrope Druck wird durch vier oder sechs Druckköpfe (in vertikaler und mehrerer horizontaler Richtungen) ausgeübt. Die Druckverteilung wird durch das Steuerungssystem optimiert, anstatt vollständig isotrop zu sein. Jeder Druckkopf kann die Kraft unabhängig voneinander anpassen, um adaptiven Druck auf verschiedene Bereiche des Embryos auszuüben.

Ausrüstung:

Mehrachsiges Presse: Druckbereich 300–600 MPa, ausgestattet mit 6-achsigem Hydrauliksystem und Echtzeit-Drucksensor.

Form : Multidirektionale Verbundstruktur, innere Schicht aus Hartmetall, äußere Schicht aus

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

hochfestem Stahl, Druckfestigkeit bis zu 800 MPa.

Merkmale:

Es bietet mehr Druckrichtungen als das bidirektionale Pressen und seine Dichtegleichmäßigkeit ist besser als beim multidirektionalen Pressen, bei dem 85 % bis 90 % der theoretischen Dichte erreicht werden können.

Da es nicht isostatisch ist, eignet es sich für eine spezifische Formoptimierung und seine Dichte liegt nahe an CIP, die Kosten sind jedoch geringer.

Der Presszyklus beträgt 15–30 Sekunden, abhängig von der Komplexität der Druckkopfkoordination.

Anwendung:

Mehrschneidige Schneidwerkzeuge und Präzisionsformen erfordern eine hohe Dichte und komplexe Geometrie.

Mittelgroße Produktion, die Leistung und Wirtschaftlichkeit in Einklang bringt.

Technische Details:

Druckkonfiguration: Vierwegekompression (vertikal + 3 seitlich), Druckverhältnis 1:0,8:0,7:0,7; Sechswwegekompression (vertikal + 5 seitlich), Druckverhältnis 1:0,7:0,6:0,6:0,6:0,6.

Pulverpartikelgröße: 1–3 μm , Zugabe von Spuren von Nano-Additiven (wie WC-Co-Verbundpulver) zur Verbesserung der Dichte.

Steuerungssystem: Es werden SPS und Closed-Loop-Feedback verwendet, die Druckabweichung beträgt $<1\%$, die Verschiebungsgenauigkeit beträgt $<0,01\text{ mm}$.

Notiz:

Die Abstimmung der Eindringkörper erfordert eine hochpräzise Kalibrierung, um Mikrorisse durch lokalen Überdruck zu vermeiden.

Für die Konstruktion von Formen ist eine Finite-Elemente-Analyse (FEA) erforderlich, um multidirektionale Spannungen zu simulieren und die Haltbarkeit zu optimieren.

Das Mischen von Pulver erfordert ein Mischen mit hoher Scherkraft, um eine isotrope Konsistenz sicherzustellen.

Zugehörige Standardreferenzen

ISO 4489:2009 Leitfaden zum Sinterprozess von Hartmetall: Betont den Einfluss der Presstechnologie auf die Dichte und Sintereigenschaften des Grünkörpers und empfiehlt das mehrdirektionale Pressen zur Optimierung komplexer Formen.

GB/T 3850-2015 Bestimmung der theoretischen Dichte von Hartmetall: Durch mehrdirektionales und mehrachsiges Pressen kann die Dichte des Grünlings deutlich erhöht und die Dichteabweichung nach dem Sintern verringert werden ($<1\%$).

GB/T 1031-2009 Messung der Oberflächenrauheit: Die Oberflächenrauheit des Rohlings nach dem Pressen ($R_a < 1,0\ \mu\text{m}$) wirkt sich direkt auf die Sinterqualität aus. Durch mehrseitiges Pressen kann die Oberflächenebenheit verbessert werden.

Technische Punkte und Optimierung

Pulvereigenschaften:

Die WC-Partikelgröße beträgt 0,5–5 μm , der Co-Gehalt beträgt 6–15 % und feines Pulver ($<1\ \mu\text{m}$)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

eignet sich für das Pressen in mehrere Richtungen.

Der Mischvorgang erfolgt 12–24 Stunden lang in einer Kugelmühle oder einem Planetenmahlwerk, um die Gleichmäßigkeit zu gewährleisten.

Schmier- und Klebstoffe:

Schmiermittel (wie etwa Paraffin 1 %–3 %) verringern die Reibung und Nanographit (0,5 %) kann hinzugefügt werden, um das multidirektionale Pressen weiter zu optimieren.

Bindemittel (wie PVA) werden für die Extrusion oder das Spritzgießen verwendet und erfordern eine thermische Entbinderungskontrolle .

Formdesign :

Die Mehrrichtungs-Pressform muss eine segmentierte Struktur mit einer verschleißfesten Schichtdicke von 2–3 mm aufweisen.

Die Finite-Elemente-Analyse simuliert die multidirektionale Spannungsverteilung und optimiert den Eindringwinkel (normalerweise 45°–60°).

Nachbehandlung nach dem Pressen:

Um eine Feuchtigkeitsaufnahme zu vermeiden, muss der Rohling bei 50–80 °C getrocknet werden. Durch Vorsintern (600–800 °C) können Bindemittel entfernt und Sinterfehler reduziert werden.

Praktische Anwendungsfälle

Fall 1: Vierwegepressen zur Herstellung mehrschneidiger Werkzeuge

: WC-10 %Co, Partikelgröße 1,5 µm .

Druck: 400 MPa vertikal, 300 MPa seitlich.

Ergebnisse: Die Dichte des Grünlings beträgt 88 % der theoretischen Dichte, die Porosität nach dem Sintern beträgt A00 und die Härte beträgt HRA 92.

Fall 2: Sechswegpressen zur Herstellung von Präzisionsformen

- 12%Co, Partikelgröße 2 µm .

Druck: 500 MPa vertikal, 350–400 MPa seitlich.

Ergebnisse: Die Dichte des Grünlings beträgt 90 % der theoretischen Dichte, die Dichte nach dem Sintern beträgt 99 % und die Verschleißfestigkeit ist um 15 % verbessert.

Moderne Trends und Innovationen

Automatisierung und Intelligenz: Die mehrachsige Pressmaschine integriert einen KI-Algorithmus, um die Druckverteilung in Echtzeit mit einer Abweichung von <0,5 % anzupassen.

Hybridverfahren: Kombination aus multidirektionalem Pressen und CIP, zuerst Formen und dann Verdichten, die Dichte kann über 95 % erreichen.

Grünes Pressen: Entwicklung wasserbasierter Schmierstoffe, um den Einsatz organischer Lösungsmittel zu reduzieren und Umweltschutzanforderungen zu erfüllen.

Nanotechnologie: Verwenden Sie Nano-WC-Pulver (<100 nm) mit Sechsfachpressung, um ultrafeinkörniges Hartmetall mit einer Härte von HRA 94 oder höher herzustellen.

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:

In diesem Kapitel behandelte Hartmetallprodukte Arten, Eigenschaften und Anwendungen von Hartmetall-Flugzeugwerkzeugen

Hartmetall-Flugzeugwerkzeuge sind Hochleistungsschneidwerkzeuge aus ultrafeinkörnigem Hartmetall (WC +Ni /Co, Korngröße <0,5 μ m) als Grundmaterial, kombiniert mit fortschrittlicher Beschichtungstechnologie (wie TiAlN , AlCrN , DLC) und Präzisionsbearbeitungstechnologie. Diese Werkzeuge sind für die Luft- und Raumfahrt konzipiert und werden zur Bearbeitung von hochfesten, hitzebeständigen Legierungen (wie Inconel 718, Ti6Al4V), Edelstahl und Verbundwerkstoffen (wie kohlenstofffaserverstärkten Verbundwerkstoffen CFK) verwendet. Luftfahrtwerkzeuge müssen eine extrem hohe Härte (1800–2200 HV), Festigkeit (2,2–2,5 GPa) , Verschleißfestigkeit (Reibungskoeffizient <0,3), hohe Temperaturbeständigkeit (> 1000 °C) und ultrahohe geometrische Genauigkeit (\pm 0,01–0,05 mm, gemäß GB/T 34505–2017) aufweisen, um die strengen Anforderungen des Hochgeschwindigkeitsschneidens (500–2000 m/min), des hohen Vorschubs (0,1–0,5 mm/U) und der langen Lebensdauer (> 60 Minuten) zu erfüllen. Dieser Artikel kombiniert nationale Standards (wie GB/T 183762014, GB/T 79972017) und Branchenpraktiken (wie Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021), um die Typen, Eigenschaften und Anwendungen von Hartmetall-Flugzeugwerkzeugen im Detail zu analysieren.

1. Arten von Hartmetall-Flugzeugwerkzeugen

Hartmetall-Flugzeugwerkzeuge werden nach Verarbeitungsfunktionen, Werkstückmaterialien und geometrischen Formen in die folgenden fünf Kategorien eingeteilt. Jeder Werkzeugtyp ist auf die spezifischen Verarbeitungsanforderungen von Flugzeugteilen (wie Triebwerksschaufeln, Rumpfanschlusslöchern und Verbundwerkstoffstrukturen) ausgelegt. Die Namen beginnen mit „Carbide Aviation“, um die Professionalität hervorzuheben:

Hartmetall-Flugzeugfräserarten

Hartmetall-Vollhartmetall- Schaftfräser für die Luftfahrt : werden für die Bearbeitung von Flächen, Seiten und Schlitzen verwendet und sind für allgemeine Fräsaufgaben geeignet.

-Kugelpkopffräser für die Luftfahrt : Wird für die Bearbeitung komplexer Oberflächen und dreidimensionaler Konturen, wie beispielsweise der Klingensform, verwendet.

- Rundfräser für die Luftfahrt : berücksichtigt sowohl die Bearbeitung flacher als auch gekrümmter Oberflächen und ist für die Vorschlichtbearbeitung geeignet.

- Wellenkantenfräser für die Luftfahrt : Wellenschneidkante , reduziert Vibrationen, geeignet für die Verarbeitung von Verbundwerkstoffen.

Hartmetall-Flugzeugfräserform

Mehrschneidig (48 Schneiden), Durchmesser \varnothing 550 mm, Länge 50150 mm, Kantenlänge 1050 mm, Schaft mit HSK- oder BT-Standardschnittstelle zur Gewährleistung hoher Steifigkeit.

Hartmetall-Fräserarten für die Luftfahrt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

YN8N (Ni 8 Gew.- %, Korn $<0,5 \mu\text{m}$, korrosionsbeständig, geeignet für Hochtemperaturlegierungen), YG6X (Co 6 Gew.- %, Korn $<0,5 \mu\text{m}$, hohe Zähigkeit, geeignet für Verbundwerkstoffe).

Hartmetall-Bohrer für die Luftfahrt

Hartmetall-Flugzeug-Spiralbohrer : Standard -Bohrwerkzeug, geeignet für Titanlegierungen und Edelstahl.

Hartmetall-Stufenbohrer für die Luftfahrt : Führt die mehrstufige Lochbearbeitung auf einmal durch, geeignet für Rumpfverbindungslöcher.

- **Tieflochbohrer für die Luftfahrt** : Längenverhältnis $> 5:1$, geeignet für die Tieflochbearbeitung von Motorteilen.

Spezieller Hartmetallbohrer für Verbundwerkstoffe in der Luftfahrt : geringe Schnittkraft, verhindert CFK-Delamination.

Hartmetall-Bohrerform für die Luftfahrt

Spiralnut (Spiralwinkel $30-40^\circ$, optimierte Spanabfuhr), $\varnothing 320 \text{ mm}$, Länge $50-200 \text{ mm}$, Spitzenwinkel $118-140^\circ$ (werkstoffangepasst).

Güten : YG6X (hohe Härte, Verschleißfestigkeit), YN10 (Co/Ni 610 Gew.- %, Korrosionsbeständigkeit, geeignet für Nassverarbeitung).

Hartmetall- Flugreibahle :

- **Flugzeugbohrer** :

-**Reibahle mit gerader Nut** : Hochpräzise Lochbearbeitung, geeignet für Metallmaterialien wie Titanlegierungen.

Reibahle aus Hartmetall : Verbesserte Spanabfuhr, geeignet für tiefe Löcher und klebrige Materialien.

Hartmetall- Verbundreibahle für die Luft- und Raumfahrt : geringe Schnittkraft, verhindert Delamination und Grate von CFK.

Form : Mehrschneidig (46 Kanten), Durchmesser $\varnothing 530 \text{ mm}$, Länge 50100 mm , Klingenslänge 2040 mm .

Sorte : YN6 (Ni 6 Gew.- %, Korngröße $0,51,5 \mu\text{m}$, ausgezeichnete Verschleißfestigkeit), YG8 (Co 8 Gew.- %, Korngröße $0,51,5 \mu\text{m}$, gute Zähigkeit).

Hartmetall-Drehwerkzeugtypen für die Luftfahrt

Außenzylindrisches Drehwerkzeug aus Hartmetall für die Luftfahrt : Bearbeitung der Außenfläche von Wellenteilen, z. B. Turbinenwellen.

Hartmetall-Flugzeug- Nutfräser : zum Bearbeiten schmaler Nuten und Schneiden, geeignet für komplexe Teile.

Hartmetall-Gewindeschneider für die Luftfahrt : Bearbeitung hochpräziser Gewinde von Luftfahrtteilen.

Typ und Form von Hartmetall-Drehwerkzeugen für die Luftfahrt

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Wendeschneidplatten (Quadrat, Dreieck, Raute), Größen 10×10× 5 mm bis 20×20× 6 mm, Spitzenradius 0,20,8 mm.

Art und Qualität von Hartmetall-Drehwerkzeugen für die Luftfahrt

YN8N (hohe Temperaturbeständigkeit, geeignet für Hochtemperaturlegierungen), YG6X (hohe Festigkeit, splitterfest) .

Arten von Hartmetall-Umformwerkzeugen für die Luftfahrt

Hartmetall-Konturfräser für die Luftfahrt : Bearbeitung komplexer Oberflächen wie Flügelkanten.

Hartmetall-Verbundwerkstoff- Bearbeitungswerkzeug für die Luftfahrt : vereint Bohr- und Fräsfunktionen in einem, geeignet für eine effiziente Bearbeitung.

Form : komplexe Geometrie (mehrere gekrümmte Oberflächen, speziell geformte Rillen), Größe Ø 1050 mm, kundenspezifisch.

Güten : YN8N (korrosionsbeständig, geeignet für Verbundwerkstoffe), YG6X (hohe Zähigkeit, geeignet für multifunktionale Verarbeitung).

2. Eigenschaften von Hartmetall-Flugzeugwerkzeugen

2.1 Werkstoffeigenschaften von Hartmetall-Flugzeugwerkzeugen

Hartmetallsubstrat für Luftfahrtwerkzeuge

WC (Wolframkarbid) : 8594 Gew.- %, Härte >2000 HV, bietet hervorragende Verschleißfestigkeit und Schneidfähigkeit.

Ni/Co (Bindephase) : 615 Gew.- %, Ni (YN8N, 610 Gew.- %) verbessert die Korrosionsbeständigkeit und eignet sich für die Verarbeitung von Hochtemperaturlegierungen und feuchten Umgebungen; Co (YG6X, 615 Gew.- %) verbessert die Zähigkeit und eignet sich für Verbundwerkstoffe und Schlagbedingungen.

Korngröße : Ultrafeines Korn (<0,5 μm), verbessert die Härte (1800–2200 HV) und Biegefestigkeit (2,2–2,5 GPa) erheblich und reduziert Kantenrisse.

Additive : Cr₃C₂/VC (0,10,5 Gew.- %), hemmen das Kornwachstum, reduzieren die η -Phase (schädliches Karbid, Gehalt <0,5 %) und verbessern die Materialstabilität.

Hartmetallbeschichtung für Luftfahrtwerkzeuge

TiAlN (Titan- Aluminium- Nitrid) : hochtemperaturbeständig (>1000 °C), Dicke 24 μm , geeignet für das Hochgeschwindigkeitsschneiden von Hochtemperaturlegierungen, verlängert die Werkzeuglebensdauer um 2030 % .

AlCrN (Aluminiumchromnitrid) : hervorragende Verschleißfestigkeit, Dicke 35 μm , geeignet für Verbundwerkstoffe und Hartmetallverarbeitung.

DLC (Diamond-Like Carbon Coating) : Niedriger Reibungskoeffizient (<0,1), Dicke 13 μm , reduziert Spananhaftungen und Delamination bei der CFK-Verarbeitung.

Vorbereitung von Hartmetall-Flugzeugwerkzeugen

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

einer Pulverpartikelgröße D50 <100 µm , Sauerstoffgehalt <0,03 % (gemäß GB/T 345052017).
Bindemittel: Polyethylenglykol (PEG, 0,10,2 Gew.- %) oder Paraffin (0,51 Gew.- %) zur Optimierung der Pulverfließfähigkeit.

2.2 Leistungsmerkmale von Hartmetall-Flugzeugwerkzeugen

Härte : 1800–2200 HV (GB/T 7997–2017), gewährleistet hervorragende Verschleißfestigkeit, Verschleißrate <0,1 mm³/min (50 % niedriger als gewöhnliches Hartmetall).

Festigkeit : 2,22,5 GPa (GB/T 38512015), hohe Beständigkeit gegen Absplittern, geeignet für die Hochvorschubverarbeitung .

Zähigkeit : Bruchzähigkeit KIC 912 MPa·m^{1/2} , hält Stößen und Vibrationen beim Hochgeschwindigkeitsschneiden stand.

Hohe Temperaturbeständigkeit : > 1000 °C, bei gleichbleibender Schneidleistung, geeignet für Trocken- oder Minimalschmierungsverarbeitung (Schnittgeschwindigkeit 500–2000 m/min).

Korrosionsbeständigkeit : Ni-basierte Sorten (wie YN8N) sind beständig gegen Säure- und Alkalikorrosion und eignen sich für die Nassverarbeitung und korrosive Materialien .

Geometrische Genauigkeit : Schneidkantenradius <10 µm , Oberflächenrauheit Ra <0,2 µm , Maßabweichung ±0,010,05 mm , erfüllt die Toleranzanforderungen von Luftfahrtteilen (±0,02 mm) .

Beschichtungshaftung : Haftfestigkeit >100 N (gemäß ISO 26443), **wodurch** sichergestellt wird, dass sich die Beschichtung beim Hochgeschwindigkeitsschneiden nicht ablöst.

2.3 Bearbeitungseigenschaften von Hartmetall-Flugzeugwerkzeugen

Hochgeschwindigkeitsschneiden : unterstützt Schnittgeschwindigkeiten von 500–2000 m/min (z. B. Inconel 718-Fräsen 800 m/min, CFRP-Bohren 200 m/min) und verbessert die Verarbeitungseffizienz um 30–50 % .

Hohe Vorschubgeschwindigkeit : Vorschubgeschwindigkeit 0,10,5 mm/U, geeignet für die effiziente Bearbeitung großer Luftfahrtteile.

Lange Lebensdauer : Die Lebensdauer des Werkzeugs beträgt 60–80 Minuten (50 % länger als bei herkömmlichen Werkzeugen), wodurch die Häufigkeit des Werkzeugwechsels reduziert wird.

Geringe Oberflächenrauheit : Ra <0,8 µm (Metall) oder Ra <0,4 µm (CFK) auf der bearbeiteten Oberfläche, wodurch die Anforderungen an die Oberflächenqualität von Luftfahrtteilen erfüllt werden.

Anpassungsfähigkeit an die Umgebung : unterstützt Trocken-, Minimalschmier- (MMS) oder Nassverarbeitung und passt sich an eine Vielzahl von Verarbeitungsumgebungen an.

3. Anwendung von Hartmetall-Flugzeugwerkzeugen

Hartmetall-Flugzeugfräser

Anwendungsszenarien von Hartmetall-Flugzeugfräsern

Bearbeitung von Flugzeugtriebwerksschaufeln und Turbinenscheiben (Inconel 718, Ti6Al4V), um die Genauigkeit komplexer Oberflächen sicherzustellen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bearbeitung von Verbundwerkstoffen (CFK) wie Flügel- und Kabinenstrukturen, um Delamination und Grate zu vermeiden.

Leistung :

Schnittgeschwindigkeit: 800–2000 m/min (Inconel 718 800 m/min, CFK 1500 m/min).

Vorschub: 0,20,5 mm/U.

Lebensdauer: 80 Minuten (Superlegierung), 100 Minuten (CFK).

Oberflächenrauheit: Ra <0,8 μ m .

Beispiele :

Hartmetall-Flugzeug-Kugelpkopffräser (YN8N, \varnothing 10 mm, TiAlN -Beschichtung):

Bearbeitung von Inconel 718-Klingen, Schnittgeschwindigkeit 800 m/min, Vorschub 0,2 mm/U.

Ergebnisse: Profiltoleranz \pm 0,02 mm, Oberfläche Ra 0,6 μ m , Werkzeugstandzeit 80 Minuten (Sandvik, 2023).

Hartmetall-Flugzeug-Wellenkantenfräser (YG6X, \varnothing 12 mm, AlCrN -Beschichtung):

Bearbeitung einer CFK-Flügelplatte, Schnittgeschwindigkeit 1500 m/min, Vorschub 0,3 mm/U.

Ergebnisse: Keine Delamination, Oberfläche Ra 0,4 μ m , Lebensdauer 100 Minuten.

Anwendungsszenarien von Hartmetall-Flugzeugbohrern

Die Verarbeitung der Rumpfverbindungslöcher aus Titanlegierung (Ti6Al4V) gewährleistet hohe Präzision und geringe Gratbildung.

Bearbeitung von CFK/Aluminium-Laminatstrukturen zur Vermeidung von Delamination und Materialrissen.

Leistung

Schnittgeschwindigkeit: 50200 m/min (Ti6Al4V 50 m/min, CFK 200 m/min).

Vorschub: 0,10,2 mm/U.

Lebensdauer: 60 Minuten (Metall), 80 Minuten (CFK).

Blendengenauigkeit: \pm 0,02 mm.

Beispiele :

Hartmetall-Flugspiralbohrer (YG6X, \varnothing 6 mm, AlCrN -Beschichtung):

Bearbeitung von Ti6Al4V-Anschlussbohrungen, Bohrungstiefe 50 mm, Schnittgeschwindigkeit 50 m/min, Vorschub 0,1 mm/U.

Ergebnisse: Lochdurchmesserabweichung \pm 0,02 mm, keine Grate, Standzeit 60 Minuten.

Hartmetallbohrer für Luftfahrt-Verbundwerkstoffe (YN10, \varnothing 8 mm, DLC-Beschichtung):

Bearbeitung CFK/Aluminium-Stapel, Schnittgeschwindigkeit 200 m/min, Vorschub 0,15 mm/U.

Ergebnisse: Keine Delamination, Lochwand Ra 0,3 μ m , Lebensdauer 80 Minuten.

Anwendungsszenarien von Hartmetall-Luftfahrtreibahlen

Fertigbearbeitung der CFK-/Aluminium-Stapellöcher, um hohe Präzision und geringe Rauheit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

sicherzustellen.

Bearbeitung hochpräziser Bohrungen in Motorteilen, wie zum Beispiel Lagersitzbohrungen.

Leistung :

Schnittgeschwindigkeit: 100–300 m/min (CFK 200 m/min, Titanlegierung 100 m/min).

Vorschub: 0,150,3 mm/U.

Lebensdauer: 50 Minuten (Metall), 70 Minuten (CFK).

Oberflächenrauheit: Ra < 0,4 µm .

Beispiele :

Hartmetall-Luftfahrt-Spiralnutenreibahle (YN6, Ø 8 mm, DLC-Beschichtung):

Bearbeitung von CFK-Löchern mit einer Schnittgeschwindigkeit von 200 m/min und einem Vorschub von 0,15 mm/U.

Ergebnisse: Öffnungstoleranz ±0,01 mm, Oberfläche Ra 0,3 µm , Lebensdauer 70 Minuten.

Hartmetall-Luftfahrt-Reibahle mit gerader Nut (YG8, Ø 10 mm, TiAlN -Beschichtung):

Bearbeitung der Lagersitzbohrung Ti6Al4V, Schnittgeschwindigkeit 100 m/min, Vorschub 0,2 mm/U.

Ergebnisse: Blendenabweichung ±0,015 mm, Ra 0,4 µm , Lebensdauer 50 Minuten.

Anwendungsszenarien von Hartmetall-Drehwerkzeugen für die Luftfahrt

Bearbeiten des Außendurchmessers von Wellenteilen aus Hochtemperaturlegierungen, beispielsweise Turbinenwellen.

Bearbeitung von Gewinden und schmalen Nuten, wie beispielsweise Motoranschlüssen.

Leistung :

Schnittgeschwindigkeit: 200–600 m/min (Inconel 718 200 m/min, Edelstahl 600 m/min).

Vorschub: 0,2–0,4 mm/U.

Lebensdauer: 70 Minuten (Hochtemperaturlegierung), 90 Minuten (Edelstahl).

Oberflächenrauheit: Ra < 0,8 µm .

Beispiele :

Hartmetall-Luftfahrt-Außendrehmeißel (YG6X, Schneide 12×12× 5 mm, TiAlN- Beschichtung):

Bearbeitung einer Turbinenwelle aus Inconel 718, Schnittgeschwindigkeit 200 m/min, Vorschub 0,2 mm/U.

Ergebnisse: Oberfläche Ra 0,7 µm , Toleranz ±0,03 mm, Lebensdauer 70 Minuten.

Hartmetall-Flugzeuggewindeschneider (YN8N, Klinge 16×16× 5 mm, TiAlN- Beschichtung):

Bearbeitung von Edelstahlgewinden, Schnittgeschwindigkeit 400 m/min, Vorschub 0,3 mm/U.

Ergebnisse: Gewindegenaugigkeit IT6, Ra 0,6 µm , Lebensdauer 90 Minuten.

Anwendungsszenarien von Hartmetall-Umformwerkzeugen für die Luftfahrt

Bearbeitung komplexer Verbundkonturen wie Flügelkanten und Rumpfstrukturen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bearbeitung von Nuten mit Sonderformen aus Titanlegierungen, wie beispielsweise Nuten für Motorgehäuse.

Leistung :

Schnittgeschwindigkeit: 200–500 m/min (CFK 500 m/min, Titanlegierung 200 m/min).

Vorschub: 0,150,3 mm/U.

Lebensdauer: 60 Minuten (CFK), 50 Minuten (Titanlegierung).

Konturgenauigkeit: ±0,03 mm.

Beispiele :

Hartmetall-Luftfahrt-Sonderkonturfräser (YN8N, Ø 20 mm, AlCrN -Beschichtung):

Bearbeitung einer CFK-Flügelkante, Schnittgeschwindigkeit 500 m/min, Vorschub 0,2 mm/U.

Ergebnisse: Profiltoleranz ±0,03 mm, keine Delamination, Lebensdauer 60 Minuten.

Hartmetall-Verbundwerkstoff-Bearbeitungswerkzeug für die Luftfahrt (YG6X, Ø 15 mm, DLC-Beschichtung):

Bearbeitung einer speziell geformten Nut aus Ti6Al4V, Schnittgeschwindigkeit 200 m/min, Vorschub 0,15 mm/U.

Ergebnisse: Nuttiefentoleranz ±0,02 mm, Ra 0,5 µ m , Lebensdauer 50 Minuten.

4. Vergleich von Hartmetall-Flugzeugwerkzeugen

Werkzeugtyp	Marke	Form	Beschichtung	Schnittgeschwindigkeit m/min	Leben Minute	Genauigkeit mm	Typische Anwendungen
Hartmetall- Vollschafffräser für die Luftfahrt	YN8N,	Mehrklängen	TiAlN	5002000	80100	±0,02	Rotorblätter, CFK- Hobel
	YG6X	Ø 550 mm	AlCrN				
Hartmetall- Kugelpkopfräser für die Luftfahrt	YN8N,	Kugelpkop	TiAlN	8001500	80100	±0,02	Klingenoberfläche
	YG6X	Ø 550 mm	AlCrN				
Hartmetall-Luftfahrt- Spiralbohrer	YG6X,	Spiral-	AlCrN , DLC	50200	6080	±0,02	Loch aus Titanlegierung
	YN10	Ø 320 mm					
Hartmetallbohrer für Verbundwerkstoffe in der Luftfahrt	YG6X,	Spiral-	Zusatzinhalt	100200	80	±0,02	CFK-laminiertes Loch
	YN10	Ø 320 mm					
Spiralgenutete Reibahle aus Hartmetall für die Luftfahrt	YN6,	Mehrklängen	DLC, TiAlN	100300	5070	±0,01	CFK- Lochbearbeitung
	YG8	Ø 530 mm					
Hartmetall- Außendrehwerkzeug für	YN8N,	Klinge	TiAlN	200600	7090	±0,03	Turbinenwelle
	YG6X	1020 mm					

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Werkzeugtyp	Marke	Form	Beschichtung	Schnittgeschwindigkeit m/min	Leben Minute	Genauigkeit mm	Typische Anwendungen
die Luftfahrt							
Carbide Aviation Custom Contour Messer	YN8N, YG6X	Komplex Ø 1050 mm	AlCrN, DLC	200500	5060	±0,03	Flügelprofil

5. Optimierungsvorschläge

Materialauswahl :

Verarbeitung von Hochtemperaturlegierungen : Wählen Sie YN8N (Ni 8 Gew.- %, Korn <0,5 μm), Härte um 5 % erhöht, Korrosionsbeständigkeit um 20 % erhöht.

Verarbeitung von Verbundwerkstoffen : Verwenden Sie YG6X (Co 6 Gew.- %), um die Zähigkeit um 10 % zu erhöhen und das Risiko einer Delamination zu verringern.

Zusatzstoff : Cr3C2 (0,2 Gew.- %), verbessert die Verschleißfestigkeit um 15 %.

Beschichtungsoptimierung :

TiAlN (3 μm) : Hochtemperaturlegierungsverarbeitung, Temperaturbeständigkeit um 20 % erhöht, Lebensdauer um 30 % erhöht.

AlCrN (4 μm) : Verbundwerkstoff und Titanlegierung, Verschleißfestigkeit um 25 % erhöht.

DLC (2 μm) : Durch die CFK-Verarbeitung wird der Reibungskoeffizient auf <0,1 reduziert und das Anhaften um 50 % verringert.

Geometrie :

Schneidkantenoptimierung : Schneidkantenradius <10 μm , wodurch die Schnittwärme um 20 % reduziert und die Oberflächenqualität verbessert wird.

Einstellung des Spiralwinkels : Der Spiralwinkel von Verbundwerkstoffwerkzeugen beträgt 3540°, was die Spanabfuhr verbessert und die Delamination verringert.

Verstärkter Hinterwinkel : Hinterwinkel 1015°, reduziert die Schnittkraft um 15 % und verlängert die Lebensdauer des Werkzeugs.

Verarbeitungsparameter :

Hochgeschwindigkeitsschneiden : Inconel 718, Schnittgeschwindigkeit 800–1000 m/min, Vorschubgeschwindigkeit 0,2–0,3 mm/U.

Niedrige Geschwindigkeit und hohe Präzision : CFK-Schnittgeschwindigkeit 100–200 m/min, Vorschubgeschwindigkeit 0,1–0,15 mm/U.

Minimalmengenschmierung (MMS) : Reduziert die Schnittwärme um 30 % und verlängert die Werkzeuglebensdauer um 20 %.

Nachbearbeitung :

Schleifen : Ra <0,4 μm , wodurch die Spannungskonzentration um 30 % reduziert wird.

Polieren : Ra <0,2 μm , wodurch die Spanhaftung um 50 % reduziert und die Oberflächenqualität

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

verbessert wird.

Kugelstrahlen : Erhöhung der Oberflächenhärte um 5 %, Erhöhung der Ermüdungsbeständigkeit um 20 %.

6. Normen

GB/T 345052017 : Maßgenauigkeit $\pm 0,2$ mm, Toleranzabweichung $\leq \pm 5$ %.

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

GB/T 38502015 : Dichteüberprüfung, Gewährleistung einer Dichte > 99 %.

GB/T 51692013 : Porositätsgrad A02B00C00.

GB/T 38512015 : Biegefestigkeit 1,82,5 GPa .

GB/T 79972017 : Härte 14002200 HV.

7. Fazit

Hartmetall-Flugzeugwerkzeuge umfassen fünf Kategorien: Hartmetall-Fräser, Bohrer, Reibahlen, Drehwerkzeuge und Umformwerkzeuge. Sie verwenden ultrafeinkörniges Hartmetall (YN8N, YG6X) und moderne Beschichtungen (TiAlN, AlCrN, DLC), um den Verarbeitungsanforderungen von Hochtemperaturlegierungen und Verbundwerkstoffen in der Luft- und Raumfahrt gerecht zu werden:

Hartmetall-Flugzeugfräser : geeignet für komplexe Oberflächen und Verbundwerkstoffe, Schnittgeschwindigkeit 800–2000 m/min, Lebensdauer 80–100 Minuten.

Hartmetall-Flugzeugbohrer : hochpräzise Lochbearbeitung, Schnittgeschwindigkeit 50200 m/min, Lochdurchmesserabweichung $\pm 0,02$ mm.

Hartmetall- Flugreibahle : Fertigbohrung, Oberfläche Ra $< 0,4$ μ m , Toleranz $\pm 0,01$ mm.

Hartmetall- Drehwerkzeuge für die Luftfahrt : Schaft- und Gewindebearbeitung, Lebensdauer 7090 Minuten.

Hartmetall- Umformwerkzeuge für die Luftfahrt : komplexe Konturverarbeitung, Genauigkeit $\pm 0,03$ mm.

Diese Werkzeuge verbessern die Bearbeitungseffizienz und -qualität von Flugzeugteilen durch ihre hohe Härte, hohe Temperaturbeständigkeit und ultrahohe Präzision erheblich und werden häufig bei der Herstellung von Motoren, Flugzeugrümpfen und Verbundstrukturen eingesetzt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

In diesem Kapitel behandelte Hartmetallprodukte

Arten, Eigenschaften und Anwendungen von Hartmetall-Bohrern für den Bergbau

Hartmetall-Bergbaubohrer sind Hochleistungswerkzeuge aus mittelfeinkörnigem Hartmetall (WC + Co / Ni, Korngröße 0,52 μm) als Grundmaterial, kombiniert mit verschleißfester Beschichtungstechnologie (wie TiN , TiCN) und Präzisionsbearbeitungstechnologie. Diese Bohrer sind für den Bergbau, Tunnelbau und die geologische Erkundung konzipiert und werden zur Bearbeitung von Hartgestein (wie Granit, Basalt, Druckfestigkeit > 200 MPa), Kohleflözen und Erzen verwendet. Bergbaubohrer müssen eine hohe Härte (1400–1800 HV), Biegefestigkeit (1,8–2,5 GPa) , ausgezeichnete Verschleißfestigkeit (Verschleißvolumen < 0,2 mm^3/h), Schlagzähigkeit (KIC 912 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) und Maßgenauigkeit ($\pm 0,2\text{--}0,5$ mm, gemäß GB/T 34505–2017) aufweisen, um hohen Stößen (1050 kN) , hohen Geschwindigkeiten (100–500 U/min) und rauen Umgebungen (Staub, Feuchtigkeit) standzuhalten. Dieser Artikel kombiniert nationale Standards (wie GB/T 183762014, GB/T 79972017) und Branchenpraktiken (wie Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021), um die Typen, Eigenschaften und Anwendungen von Hartmetall-Bohrern für den Bergbau im Detail zu analysieren und die Beschreibung zu verfeinern, um ein klares Verständnis der Leser sicherzustellen, und ergänzt Leistungsvergleiche, typische Fälle und Optimierungsvorschläge .

1. Arten von Hartmetall-Bohrern für den Bergbau

Hartmetall-Bohrer für den Bergbau werden je nach Funktion, Gesteinsart und Geometrie in die folgenden drei Kategorien eingeteilt. Jeder Bohrertyp ist auf die spezifischen Anforderungen von Bergbauaufgaben (wie Hartgesteinsbohrungen, Kohlebergbau und Erzabbau) ausgelegt. Der Name beginnt mit „Carbide Mining“, um die Professionalität hervorzuheben:

Hartmetall-Bergbau-Rollenbohrertypen

Dreikegel-Hartmetallbohrer für den Bergbau

Wird zum Bohren in hartem und mittelhartem Gestein verwendet und ist für große Tagebaugruben geeignet.

Hartmetall-Bergbau-Einzelkegelbohrer

Wird für kleine oder komplexe Geologien verwendet, mit hoher Flexibilität.

Form

Konische oder kugelige Zähne, Zähnezahzahl 10–30, Bohrdurchmesser \varnothing 100–400 mm, Länge 200–600 mm, Anschluss API-Standardgewinde.

Marke

YN10 (Co 10 Gew. %, Korn 0,51,5 μm , schlagfest), YG8 (Co 8 Gew. %, Korn 0,51,5 μm , verschleißfest).

Hartmetall-Bergbau-DTH-Bohrertypen

Standard-DTH-Bohrer aus Hartmetall für den Bergbau

Wird in mittelhartem und weichem Gestein verwendet, geeignet für Sprenglöcher.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hartmetall-Hochdruck-Imlochbohrer für den Bergbau

Wird mit hoher Effizienz in tiefen Löchern und hartem Gestein verwendet.

Form

Zylindrisch, mit kugel- oder kugelförmigen Hartmetallzähnen, Zähnezahl 820, Bohrdurchmesser Ø 80–200 mm, Länge 150–300 mm.

Qualität : YG8 (hohe Härte), YN10 (korrosionsbeständig, geeignet zum Nassbohren).

Hartmetall-Bergbau-Meißeltypen

Konische Hartmetall-Bergbaumeißel

Für den Einsatz in Kohleflözen und weichem Gestein, geeignet für Teilschnittmaschinen .

Zylindrische Hartmetall-Bergbaumeißel

Wird für mittelhartes Gestein verwendet, geeignet für umfassenden Bergbau.

Form

Konischer oder zylindrischer Kopf, Kopfdurchmesser Ø 1030 mm, Länge 50100 mm, Grundkörper aus hochfestem Stahl (z. B. 42CrMo).

Marke

YG6 (Co 6 Gew.- %, Korngröße 1,52 µ m , schlagfest), YN10 (hohe Zähigkeit).

2. Eigenschaften von Hartmetall-Bohrern für den Bergbau

2.1 Materialeigenschaften von Hartmetall-Bohrern für den Bergbau

Hartmetall-Bohrerkörper für den Bergbau

WC (Wolframkarbid) : 8592 Gew.- %, Härte >2000 HV, bietet hervorragende Verschleißfestigkeit und Schneidfähigkeit.

Co/Ni (Bindefase) : 815 Gew.- %, Co (YG8, 815 Gew.- %) verbessert die Zähigkeit und eignet sich für hohe Schlagzähigkeit; Ni (YN10, 610 Gew.- %) verbessert die Korrosionsbeständigkeit und eignet sich für feuchte Kohleflöze und saure Umgebungen.

Korngröße : Mittelfeine Körner (0,51,5 µ m , YN10/YG8) gleichen Härte (1400–1800 HV) und Zähigkeit (KIC 912 MPa·m^{1/2}) aus ; grobe Körner (1,52 µ m , YG6) verbessern die Schlagzähigkeit zusätzlich.

Zusatzstoffe : Cr3C2 (0,10,5 Gew.- %), hemmt das Kornwachstum, reduziert die η-Phase (schädliche Carbide, Gehalt <0,5 %) und verbessert die Materialstabilität.

Hartmetallbeschichtung für Bergbaubohrer (optional)

TiN (Titannitrid) : verschleißfest, Dicke 24 µ m , geeignet für Hartgesteinsbohrungen, verlängert die Lebensdauer um 1520 % .

TiCN (Titancarbonitrid) : schlagfest, 35 µ m dick, geeignet für Kohleflöze und weiches Gestein, reduziert den Verschleiß um 25 %.

Vorbereitung von Hartmetall-Bohrern für den Bergbau

einer Pulverpartikelgröße D50 50–150 µ m , Sauerstoffgehalt <0,03 % (entsprechend GB/T

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

345052017).

Bindemittel: Polyethylenglykol (PEG, 0,10,2 Gew.- %) oder Paraffin (0,51 Gew.- %) zur Optimierung der Pulverfließfähigkeit.

2.2 Leistungsmerkmale von Hartmetall-Bohrern für den Bergbau

Härte : 1400–1800 HV (GB/T 7997–2017), hervorragende Verschleißfestigkeit, Verschleißrate <0,2 mm³/h (40 % niedriger als gewöhnliches Hartmetall).

Festigkeit : 1,82,5 GPa (GB/T 38512015), bruchfest, geeignet für Umgebungen mit hoher Stoßbelastung.

Zähigkeit : Bruchzähigkeit KIC 912 MPa·m^{1/2}, beständig gegen hochfrequente Stöße (1050 kN) und Vibration.

Verschleißfestigkeit : Verschleiß <0,2 mm³/h, Standzeit 80–120 Stunden (50–100 % länger als bei herkömmlichen Bohrern) .

Korrosionsbeständigkeit : Ni-basierte Sorten (wie YN10) sind beständig gegen Feuchtigkeit und säurehaltige Umgebungen und eignen sich zum Nassbohren .

Geometrische Genauigkeit : Maßabweichung ±0,20,5 mm, Oberflächenrauheit Ra <1,6 μ m , Erfüllung der Bohrtoleranzanforderungen (±0,5 mm).

Haftung der Beschichtung : Klebkraft >80 N (gemäß ISO 26443), wodurch sichergestellt wird, dass sich die Beschichtung bei starker Einwirkung nicht ablöst.

2.3 Verarbeitungseigenschaften von Hartmetall-Bergbaubohrern

Hochschlagbohren : unterstützt eine Schlagkraft von 1050 kN (z. B. 30 kN beim Imlochbohren) , geeignet für den Hartgesteins- und Erzabbau.

Hohe Geschwindigkeit : 100–500 U/min (200 U/min für Rollenbohrer, 300 U/min für Spitzmeißel), wodurch die Bohrleistung um 20–30 % gesteigert wird.

Lange Lebensdauer : Die Werkzeuglebensdauer beträgt 80–120 Stunden, wodurch die Austauschhäufigkeit und die Ausfallkosten reduziert werden.

Anpassungsfähigkeit an die Umgebung : Beständig gegen Staub, Feuchtigkeit und hohe Temperaturen (> 200 °C), unterstützt Trocken- oder Nassbohren.

Geringe Wartungskosten : Hohe Verschleißfestigkeit und Zähigkeit reduzieren den Zahnverschleiß und verlängern den Wartungszyklus um 50 %.

3. Anwendung von Hartmetall-Bohrern im Bergbau

Anwendungsszenarien von Drehbohrern aus Hartmetall für den Bergbau

Bohren in hartem Gestein (z. B. Granit, Basalt), verwendet im Tagebau und im Tiefschachtbergbau. Geologische Erkundung, Bearbeitung von Löchern mit großem Durchmesser (Ø 200–400 mm).

Leistung :

Drehzahl: 150.200 U/min.

Aufprallkraft: 2040 kN .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Lebensdauer: 100-120 Stunden.

Bohrgenauigkeit: Lochdurchmesserabweichung $\pm 0,5$ mm.

Beispiele :

Hartmetall-Dreikegelbohrer für den Bergbau (YN10, \varnothing 250 mm, TiN- Beschichtung):

Bearbeitung von Granit (Druckfestigkeit 220 MPa), Drehzahl 200 U/min, Schlagkraft 30 kN .

Ergebnisse: Lochtiefe 500 m, Lochdurchmesserabweichung $\pm 0,5$ mm, Lebensdauer 120 Stunden (ScienceDirect, 2021).

Hartmetall-Bergbau-Einzelkegelbohrer (YG8, \varnothing 150 mm, TiCN -Beschichtung):

Bearbeitung von mittelhartem Gestein (Druckfestigkeit 150 MPa), Drehzahl 180 U/min, Schlagkraft 25 kN .

Ergebnisse: Bohrtiefe 300 m, Lebensdauer 100 Stunden.

Imlochbohrer für den Bergbau :

Anwendungsszenarien :

Eisen- und Kupferbergbau, Bearbeitung von Sprenglöchern (\varnothing 80–200 mm).

Tunnelbau in mittelhartem und weichem Gestein.

Leistung :

Drehzahl: 100-150 U/min.

Aufprallkraft: 2030 kN .

Lebensdauer: 80100 Stunden.

Bohrgenauigkeit: Lochdurchmesserabweichung $\pm 0,4$ mm.

Beispiele :

Hartmetall-Bergbau-Standard-Imlochbohrer (YG8, \varnothing 120 mm, TiCN -Beschichtung):

Verarbeitung von Eisenerz (Druckfestigkeit 180 MPa), Drehzahl 150 U/min, Schlagkraft 25 kN .

Ergebnisse: Lochtiefe 100 m, Lochdurchmesserabweichung $\pm 0,4$ mm, Lebensdauer 100 Stunden.

Hartmetall-Hochdruck-Imlochbohrer für den Bergbau (YN10, \varnothing 100 mm, TiN- Beschichtung):

Verarbeitung von Basalt (Druckfestigkeit 200 MPa), Rotationsgeschwindigkeit 120 U/min, Schlagkraft 30 kN .

Ergebnisse: Bohrlochtiefe 150 m, Lebensdauer 90 Stunden.

Hartmetall-Bergbau- Spitzen :

Anwendungsszenarien :

Kohleflözabbau, für Teilschnittmaschinen und integrierte Kohlebergbauausrüstung.

Abbau von mittelhartem Gestein, wie beispielsweise Sandstein (Druckfestigkeit 100–150 MPa).

Leistung :

Drehzahl: 200-300 U/min.

Aufprallkraft: 1020 kN .

Lebensdauer: 80100 Stunden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Oberflächenrauheit: Ra <1,6 μ m .

Beispiele :

Hartmetall-Bergbaukegelmeißel (YG6, Ø 20 mm, unbeschichtet):

Aufbereitung Kohleflöz (Druckfestigkeit 50 MPa), Drehzahl 300 U/min, Aufprallkraft 10 kN .

Ergebnisse: 5000 m Aushub, 80 Stunden Standzeit, Verschleiß <0,15 mm³/h.

Zylindrische Hartmetall-Bergbaumeißel (YN10, Ø 25 mm, TiN -Beschichtung):

Bearbeitung von Sandstein (Druckfestigkeit 120 MPa), Drehzahl 250 U/min, Schlagkraft 15 kN .

Ergebnis: Aushub 4000 m, Lebensdauer 100 Stunden.

4. Vergleich der Hartmetall-Bohrertypen für den Bergbau

Bohrertyp	Marke	Form	Beschichtung	Geschwindigkeit U/min	Leben Stunde	Genauigkeit (mm)	Typische Anwendungen
Hartmetall-Dreikegelbohrer für den Bergbau	YN10, YG8	Kegel-/Kugelzähne, Ø 100/400 mm	Zinn , TiCN	150200	100120	±0,5	Hardrock, Erkundung
Standard-DTH-Bohrer aus Hartmetall für den Bergbau	YG8, YN10	Kugelzähne, Ø 80/200 mm	TiCN	100150	80100	±0,4	Eisenerz, Tunnel
Konische Hartmetall-Bergbaumeißel	YG6, YN10	Konisch, Ø 1030 mm	Keine/ TiN	200300	80100	±0,3	Kohleflöz, Weichgestein

5. Optimierungsvorschläge

Materialauswahl :

Bohren in Hartgestein : Verwenden Sie YN10 (Co 10 Gew.- % , Korngröße 0,5–1,5 μ m) , die Härte erhöht sich um 5 % und die Schlagfestigkeit erhöht sich um 15 % .

Kohlebergbau : Es wird YG6 (Co 6 Gew.- % , Korngröße 1,52 μ m) ausgewählt, mit 20 % höherer Zähigkeit und Bruchfestigkeit.

Zusatzstoff : Cr3C2 (0,2 Gew.- %), Verschleißfestigkeit um 15 % erhöht.

Beschichtungsoptimierung :

TiN (3 μ m) : Beim Bohren in hartem Gestein erhöht sich die Verschleißfestigkeit um 20 % und die Lebensdauer um 15 % .

TiCN (4 μ m) : Kohleflöze und weiches Gestein, Schlagfestigkeit um 20 % erhöht.

Geometrie :

Optimierte Zahnform : Kugelzähne (hartes Gestein) oder Kegelzähne (weiches Gestein), wodurch der Verschleiß um 20 % reduziert wird.

Zahnanordnung : Asymmetrische **Anordnung** , reduziert Vibrationen um 15 % und verbessert die Bohrleistung.

Matrixverstärkung : 42CrMo -Stahlmatrix, Ermüdungsbeständigkeit um 30 % erhöht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verarbeitungsparameter :

Hartgestein : Drehzahl 150–200 U /min, Schlagkraft 2030 kN .

Weichgestein : Rotationsgeschwindigkeit 200–300 U /min, Schlagkraft 1015 kN .

Nassbohren : Wasserdurchflussrate 1020 l/min, reduziert den Verschleiß um 25 % .

Nachbearbeitung :

Schleifen : Ra <1,6 µm , wodurch die Spannungskonzentration um 20 % reduziert wird.

Kugelstrahlen : Oberflächenhärte um 5 % erhöht, Ermüdungsbeständigkeit um 25 % erhöht.

6. Normen

GB/T 345052017 : Maßgenauigkeit $\pm 0,2$ mm, Toleranzabweichung $< \pm 5$ %.

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

GB/T 38502015 : Dichteüberprüfung.

GB/T 51692013 : Porositätsgrad A02B00C00.

GB/T 38512015 : Biegefestigkeit 1,82,5 GPa .

GB/T 79972017 : Härte 14001800 HV.

7. Fazit

Hartmetall-Bohrer für den Bergbau lassen sich in drei Kategorien einteilen: Hartmetall-Rollenbohrer, Imlochbohrer und Spitzhacken. Sie bestehen aus mittelfeinkörnigem Hartmetall (YN10, YG8, YG6) und verschleißfesten Beschichtungen (TiN , TiCN) , um den Anforderungen des Hartgesteins-, Kohleflöz- und Erzbergbaus gerecht zu werden:

Rollenbohrer für den Bergbau : Bohren in hartem Gestein, Geschwindigkeit 150–200 U/min, Lebensdauer 100–120 Stunden.

Imlochbohrer aus Hartmetall für den Bergbau : Erz und Tunnel, Geschwindigkeit 100–150 U/min, Lebensdauer 80–100 Stunden.

Hartmetall-Bergbaumeißel : Kohleflöze und Weichgestein, Geschwindigkeit 200–300 U/min, Lebensdauer 80–100 Stunden.

Diese Bohrer verbessern die Effizienz und Wirtschaftlichkeit des Bergbaus durch ihre hohe Härte, Schlagfestigkeit und lange Lebensdauer erheblich und werden häufig in Tagebau- und Untertagebau- sowie Tunnelbauprojekten eingesetzt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

**In diesem Kapitel behandelte Hartmetallprodukte
Arten, Eigenschaften und Anwendungen von verschleißfesten Hartmetallformen**

Verschleißfeste Formen aus Hartmetall sind Hochleistungswerkzeuge aus mittelfeinkörnigem Hartmetall (WC + Co / Ni, Korngröße 0,52 μ m) als Grundmaterial, kombiniert mit Präzisionsbearbeitungstechnologie und optionaler Beschichtungstechnologie (wie TiN , CrN) . Diese Formen sind für die industrielle Umformung, das Stanzen und Extrudieren konzipiert und werden zur Verarbeitung von Metallen (wie Stahl, Aluminium), Kunststoffen, Keramik und anderen Materialien verwendet. Verschleißfeste Formen aus Hartmetall müssen eine hohe Härte (1400–1800 HV), hohe Festigkeit (1,8–2,5 GPa) , ausgezeichnete Verschleißfestigkeit (Verschleißverlust <0,1 mm³/h), Korrosionsbeständigkeit und Maßgenauigkeit (\pm 0,01–0,05 mm, in Übereinstimmung mit GB/T 34505–2017) aufweisen, um hohem Druck (500–2000 MPa), hoher Frequenz (> 10⁶-fach) und komplexen Arbeitsbedingungen (hohe Temperaturen, Korrosion) standzuhalten. Dieser Artikel kombiniert nationale Standards (wie GB/T 183762014, GB/T 79972017) und Branchenpraktiken (wie Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021), um die Arten, Eigenschaften und Anwendungen von verschleißfesten Hartmetallformen im Detail zu analysieren und die Beschreibung zu verfeinern, um ein klares Verständnis der Leser sicherzustellen, Leistungsvergleiche, typische Fälle und Optimierungsvorschläge zu ergänzen und den Produktnamen in der Form „verschleißfestes Hartmetall + spezifischer Formname“ detailliert anzugeben.

1. Arten von verschleißfesten Hartmetallformen

Verschleißfeste Hartmetallformen werden je nach Formfunktion, Verarbeitungsmaterialien und geometrischen Formen in die folgenden drei Kategorien eingeteilt. Jeder Formtyp ist auf die spezifischen Anforderungen der industriellen Fertigung (z. B. Metallstanzen, Kunststoffformen, Keramikextrusion) ausgerichtet. Der Name beginnt mit „Hartmetall verschleißfest“, um die Professionalität hervorzuheben:

Verschleißfeste Hartmetall-Stanzformen

Verschleißfeste Kaltstanzform aus Hartlegierung

Wird zum Stanzen und Biegen von Blechen verwendet, geeignet für Autoteile.

Verschleißfestes Heißprägewerkzeug aus Hartlegierung

Wird für die Metallumformung bei hohen Temperaturen verwendet, beispielsweise für Schmiedeteile in der Luftfahrt.

Form : komplexer Hohlraum (Stempel, Matrize), Größe 50×50×20 mm bis 200×200×50 mm, Kantenradius 0,10,5 mm.

Sorte : YG8 (Co 8 Gew. %, Korn 0,51,5 μ m , verschleißfest), YN10 (Co/Ni 10 Gew. %, Korn 0,51,5 μ m , korrosionsbeständig).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Verschleißfester Zugmatrizentyp aus Hartmetall

Verschleißfester Hartmetall-Drahtziehstein

Wird zum Spannen von Metalldrähten wie Kupferdraht und Stahldraht verwendet.

Verschleißfeste Hartmetall-Extrusionsdüse

Wird zum Extrudieren von Rohren und Profilen aus Metall oder Kunststoff verwendet.

Form : rundes oder speziell geformtes Loch ($\varnothing 0,150$ mm), Formaußendurchmesser $\varnothing 20100$ mm, Länge 30150 mm.

Güteklasse : YG6 (Co 6 Gew.- %, Korngröße $1,52 \mu\text{m}$, schlagfest), YG8 (hohe Härte).

Verschleißfeste Formwerkzeugtypen aus Hartmetall

Hartmetall-verschleißfeste Kunststoffform

Wird für den Spritzguss verwendet, beispielsweise für Handyhüllen.

Verschleißfeste Pulvermetallurgieform aus Hartlegierung

Wird zum Pressen von Keramik- und Hartmetallrohlingen verwendet.

Form : Komplex gekrümmter Hohlraum, Größe $20 \times 20 \times 10$ mm bis $150 \times 150 \times 50$ mm , Oberflächenrauheit $Ra < 0,4 \mu\text{m}$.

Güteklasse : YN10 (korrosionsbeständig), YG8 (hohe Festigkeit).

2. Eigenschaften von verschleißfesten Hartmetallformen

2.1 Materialeigenschaften

Matrix

WC (Wolframkarbid) : 8592 Gew.- %, Härte > 2000 HV, bietet hervorragende Verschleißfestigkeit und Druckfestigkeit.

Co/Ni (Bindephase) : 615 Gew.- %. Co (YG8, 815 Gew.- %) verbessert die Zähigkeit und eignet sich für Hochdruckbedingungen; Ni (YN10, 610 Gew.- %) verbessert die Korrosionsbeständigkeit und eignet sich für saure oder feuchte Umgebungen.

Korngröße : Mittelfine Körner ($0,51,5 \mu\text{m}$, YN10/YG8) gleichen Härte ($1400\text{--}1800$ HV) und Zähigkeit ($KIC 912 \text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) aus ; grobe Körner ($1,52 \mu\text{m}$, YG6) verbessern die Schlagzähigkeit.

Zusatzstoffe : Cr₃C₂ (0,10,5 Gew.- %) , hemmt das Kornwachstum, reduziert die η -Phase (schädliche Carbide, Gehalt $< 0,5$ %) und verbessert die Materialstabilität.

Beschichtung (optional)

TiN (Titanitrid) : verschleißfest, Dicke $24 \mu\text{m}$, geeignet zum Stanzen von Metall, verlängert die Lebensdauer um $20\text{--}30$ % .

CrN (Chromnitrid) : korrosionsbeständig, Dicke $35 \mu\text{m}$, geeignet für Kunststoffformung und Nassverarbeitung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vorbereitung

einer Pulverpartikelgröße D50 50–150 μm , Sauerstoffgehalt $<0,03\%$ (entsprechend GB/T 345052017).

Bindemittel: Polyethylenglykol (PEG, 0,10,2 Gew.-%) oder Paraffin (0,51 Gew.-%) zur Optimierung der Pulverfließfähigkeit.

2.2 Leistungsmerkmale

Härte : 1400–1800 HV (GB/T 7997–2017), ausgezeichnete Verschleißfestigkeit, Verschleißrate $<0,1\text{ mm}^3/\text{h}$ (50 % niedriger als gewöhnliches Hartmetall).

Festigkeit : 1,82,5 GPa (GB/T 38512015), hohe Druckfestigkeit, hält 500–2000 MPa stand.

Zähigkeit : Bruchzähigkeit KIC 912 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, beständig gegen hochfrequente Stöße ($>10^6$ -mal).

Verschleißfestigkeit : Verschleiß $<0,1\text{ mm}^3/\text{h}$, Lebensdauer der Form 10^6 – 10^7 -mal (510-mal länger als Formen aus Schnellarbeitsstahl) .

Korrosionsbeständigkeit : Ni-basierte Sorten (wie YN10) sind beständig gegen Säuren und Laugen und eignen sich für die Nassverarbeitung und korrosive Materialien .

Geometrische Genauigkeit : Maßabweichung $\pm 0,010,05\text{ mm}$, Oberflächenrauheit $\text{Ra} <0,4\text{ }\mu\text{m}$, erfüllt die Anforderungen an hochpräzises Formen.

Beschichtungshaftung : Klebkraft $>80\text{ N}$ (gemäß ISO 26443), dadurch ist gewährleistet, dass sich die Beschichtung auch bei hohem Druck nicht ablöst .

2.3 Verarbeitungseigenschaften

Hochdruckformen : unterstützt **Formdrücke** von 500–2000 MPa (z. B. Kaltstanzen 1000 MPa, Extrusion 1500 MPa).

Hohe Frequenz : unterstützt kontinuierliches Stanzen/Formen $>10^6$ Mal, geeignet für die Massenproduktion.

Lange Lebensdauer : Die Lebensdauer der Form beträgt das 10^6 - bis 10^7 -fache, wodurch die Austauschhäufigkeit reduziert und die Produktionskosten um 3050 % gesenkt werden.

Hohe Oberflächenqualität : Die Oberfläche des Formteils weist einen Ra-Wert von $<0,8\text{ }\mu\text{m}$ auf und erfüllt damit die Anforderungen an Präzisionsteile.

Umweltanpassungsfähigkeit : **Beständig** gegen hohe Temperaturen ($> 300\text{ }^\circ\text{C}$), Feuchtigkeit und Korrosion, geeignet für eine Vielzahl von Verarbeitungsumgebungen.

3. Anwendung von verschleißfesten Hartmetallformen

Verschleißfestes Hartmetall- Stanzwerkzeug :

Anwendungsszenarien :

Stanzen und Biegen von Autoteilen (z. B. Karosseriestahlplatten, Aluminiumlegierungsplatten).

Hochtemperaturumformung von Schmiedeteilen für die Luftfahrt (z. B. Verbindungsstücke aus Titanlegierungen).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Leistung :

Formdruck: 800–1200 MPa.

Anzahl der Schläge: $>10^6$ mal.

Lebensdauer: 10^6 – 10^7 mal.

Genauigkeit: $\pm 0,02$ mm.

Beispiele :

Verschleißfestes Kaltstanzwerkzeug aus Hartlegierung (YG8, $100 \times 100 \times 30$ mm, TiN-Beschichtung):

Verarbeitung einer 1 mm dicken Edelstahlplatte, Druck 1000 MPa, Hubzeiten $1,5 \times 10^6$ -mal.

Ergebnisse: Teiletoleranz $\pm 0,02$ mm, Oberfläche Ra $0,6 \mu\text{m}$, Lebensdauer $1,5 \times 10^6$ mal (Sandvik, 2023).

Verschleißfestes Warmprägewerkzeug aus Hartlegierung (YN10, $150 \times 150 \times 40$ mm, CrN-Beschichtung):

Verarbeitung von Ti6Al4V-Schmiedeteilen bei 1200 MPa Druck und 800°C Temperatur.

Ergebnis: Toleranz $\pm 0,03$ mm, Lebensdauer 10^6 mal.

Verschleißfeste Hartmetall- Zugmatrize :

Anwendungsszenarien :

Strecken von Metalldrähten (z. B. Kupferdraht $\varnothing 0,1$ mm, Stahldraht $\varnothing 1$ mm).

Extrusion von Aluminiumlegierungen oder Kunststoffrohren (z. B. Rohrverbindungen für die Automobilindustrie).

Leistung :

Zug-/Extrusionsdruck: 1000–1500 MPa.

Lebensdauer: 10^5 – 10^6 mal.

Genauigkeit: Blendenabweichung $\pm 0,01$ mm.

Oberflächenrauheit: Ra $< 0,4 \mu\text{m}$.

Beispiele :

Verschleißfeste Drahtziehsteine aus Hartmetall (YG6, Bohrungs- $\varnothing 0,5$ mm, TiN -Beschichtung):

Spannen von Kupferdraht ($\varnothing 0,5$ mm), Druck 1200 MPa, Lineargeschwindigkeit 10 m/s.

Ergebnisse: Drahtdurchmesserabweichung $\pm 0,01$ mm, Oberfläche Ra $0,3 \mu\text{m}$, Lebensdauer 3×10^6 Meter.

Verschleißfeste Hartmetall-Strangpressmatrize (YG8, Bohrung $\varnothing 20$ mm, CrN- Beschichtung):

Stranggepresstes Rohr aus Aluminiumlegierung ($\varnothing 20$ mm), Druck 1500 MPa.

Ergebnis: Rohrwandtoleranz $\pm 0,02$ mm, Lebensdauer 10^6 mal.

Verschleißfeste Form aus Hartlegierung :

Anwendungsszenarien :

Spritzguss (z. B. Handyhüllen, Kunststoffteile für Autos).

Pulvermetallurgisches Pressen (z. B. Keramikteile, Hartmetallblöcke).

Leistung :

Formdruck: 500–1000 MPa.

: 2×10^6 – 10^7 mal.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Genauigkeit: $\pm 0,010,03$ mm.

Oberflächenrauheit: $Ra < 0,4 \mu m$.

Beispiele :

Hartmetall-Verschleißschutz-Kunststoffformwerkzeug (YN10, $80 \times 80 \times 20$ mm, CrN-Beschichtung):

Spritzguss einer ABS-Handyhülle, Druck 800 MPa, Zyklus 2×10^6 mal.

Ergebnisse: Teiletoleranz $\pm 0,01$ mm, Oberfläche $Ra 0,2 \mu m$, Lebensdauer $2,5 \times 10^6$ mal.

Verschleißfeste Pulvermetallurgieform aus Hartmetall (YG8, $50 \times 50 \times 15$ mm, TiN-Beschichtung):

Pressen von Keramikrohlings bei einem Druck von 1000 MPa.

Ergebnis: Toleranz $\pm 0,02$ mm, Lebensdauer 10^7 -fach.

4. Vergleich der verschleißfesten Hartmetall-Formtypen

Formtyp	Marke	Form	Beschichtung	Druck (MPa)	Lebensdauer (Zeiten)	Genauigkeit (mm)	Typische Anwendungen
Verschleißfeste Kaltstanzform Hartlegierung	YG8,	Kammer, 50200 mm	Zinn, CrN	8001200	$10^6 10^7$	$\pm 0,02$	Automobilstahlplatte
	YN10						
Verschleißfester Hartmetall-Drahtziehstein	YG6,	Bohrung, \emptyset 0,150 mm	Zinn	10001500	$10^6 5 \times 10^6$	$\pm 0,01$	Kupferdraht, Stahldraht
	YG8						
Hartmetall-verschleißfeste Kunststoffform	YN10, YG8	Gebogene Oberfläche, 20150 mm	CrN	5001000	$2 \times 10^6 10^7$	$\pm 0,01$	Handyhüllen

5. Optimierungsvorschläge

Materialauswahl :

Metallstanzen : Verwenden Sie YG8 (Co 8 Gew.-%, Korngröße $0,51,5 \mu m$), die Härte wird um 5 % und die Verschleißfestigkeit um 20 % erhöht.

Kunststoffformung : Verwenden Sie YN10 (Ni 10 Gew.-%), um die Korrosionsbeständigkeit um 25 % zu erhöhen.

Zusatzstoff : Cr3C2 (0,2 Gew.-%), Verschleißfestigkeit um 15 % erhöht.

Beschichtungsoptimierung :

TiN ($3 \mu m$) : Metallstanzen, Verschleißfestigkeit um 20 % erhöht, Lebensdauer um 30 % erhöht.

CrN ($4 \mu m$) : Kunststoffformung, Korrosionsbeständigkeit um 20 % erhöht, reduziertes Anhaften der Form.

Geometrie :

Schneidkantenoptimierung : Schneidkantenradius $< 0,2$ mm, wodurch die Spannungskonzentration um 20 % reduziert wird.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hohlraum Politur : Ra <0,2 µm , wodurch die **Haftung** um 30 % reduziert wird.

Übergangsradius : R0,51 mm , Rissbeständigkeit um 15 % erhöht.

Verarbeitungsparameter :

Kaltstanzen : **Druck** 800–1000 MPa, Stanzgeschwindigkeit 100–200 Mal/min.

Extrusion : Druck 1200–1500 MPa, Temperatur <300 °C.

Spritzguss : Druck 600–800 MPa, Zykluszeit 510 Sekunden .

Nachbearbeitung :

Schleifen : Ra <0,4 µm , wodurch der Verschleiß um 20 % reduziert wird.

Polieren : Ra <0,2 µm , wodurch die Oberflächenqualität der Teile um 30 % verbessert wird.

Kugelstrahlen : Oberflächenhärte um 5 % erhöht, Ermüdungsbeständigkeit um 25 % erhöht.

6. Normen

GB/T 345052017 : Maßgenauigkeit ±0,01 mm, Toleranzabweichung <±5 %.

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

GB/T 38502015 : Dichteüberprüfung.

GB/T 51692013 : Porositätsgrad A02B00C00.

GB/T 38512015 : Biegefestigkeit 1,82,5 GPa .

GB/T 79972017 : Härte 14001800 HV.

7. Fazit

Verschleißfeste Hartmetallformen lassen sich in drei Kategorien einteilen: verschleißfeste Stanzformen, Ziehformen und Formformen. Sie verwenden mittel- und feinkörniges Hartmetall (YG8, YN10, YG6) und verschleißfeste Beschichtungen (TiN , CrN) , um den Verarbeitungsanforderungen von Metallen, Kunststoffen und Keramik gerecht zu werden:

Verschleißfeste Stanzwerkzeuge aus Hartmetall : Schmiedeteile für Automobilteile und die Luftfahrt, Druck 800–1200 MPa, Lebensdauer 10^6 – 10^7 -mal.

Verschleißfestes Zugwerkzeug aus Hartmetall : Draht und Rohr, Druck 1000–1500 MPa, Genauigkeit ± 0,01 mm.

Verschleißfeste Formwerkzeuge aus Hartmetall : Spritzguss und Pulvermetallurgie, Lebensdauer 2×10^6 – 10^7 -mal, Oberflächen-Ra <0,4 µm .

Diese Formen verbessern die industrielle Formgebungseffizienz und Produktqualität durch ihre hohe Härte, Verschleißfestigkeit und ultrahohe Präzision erheblich und finden breite Anwendung in der Automobil-, Elektronik-, Luftfahrt- und Keramikindustrie.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Anhang:

Eigenschaften, Anwendbarkeit sowie Vor- und Nachteile verschiedener Pressverfahren von Hartmetall

Beim Pressen von Hartmetall (z. B. auf Nickel- oder Kobaltbasis) werden Wolframkarbidpulver (WC), Bindephasenpulver (z. B. Ni, Co) und andere Zusatzstoffe (z. B. Cr₃C₂, VC) gemischt und zu Rohlingen (Prüfstäben, Werkzeugrohlingen usw.) gepresst, um gleichmäßige und dichte Rohlinge (Dichte 50–70 % der theoretischen Dichte, Porosität <0,01 %) für das anschließende Sintern zu erhalten. Der Pressvorgang wirkt sich direkt auf die Maßgenauigkeit ($\pm 0,1$ mm), die Dichtegleichmäßigkeit (>95 %), die mechanischen Eigenschaften (Biegefestigkeit 1,8–2,5 GPa, Härte 1400–2200 HV) und die endgültige Prüfstabqualität (gemäß GB/T 3851–2015, GB/T 7997–2017) des Rohlings aus. Gängige Pressverfahren sind Gesenkpressen, Kaltisostatisches Pressen (CIP), Heißisostatisches Pressen (HIP, Pressen + Sintern), Extrusion und Metallspritzguss (MIM). Im Folgenden werden die Eigenschaften, die Anwendbarkeit sowie die Vor- und Nachteile verschiedener Pressverfahren detailliert beschrieben. Eine Tabelle ermöglicht einen übersichtlichen Vergleich. Sie wird mit nationalen Normen (wie GB/T 345052017, GB/T 183762014) und neuesten Forschungsergebnissen (wie Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021) kombiniert.

1. Übersicht über verschiedene Pressverfahren für Hartmetall

Das Ziel des Hartmetallpressverfahrens besteht darin, Barren mit hoher Dichte (50 – 70 % der theoretischen Dichte), Gleichmäßigkeit (> 95 %) und Maßgenauigkeit ($\pm 0,1$ mm) herzustellen, um die Leistungsanforderungen der Teststäbe nach dem Sintern zu erfüllen (wie beispielsweise Biegefestigkeit 1,8 – 2,5 GPa, Härte 1400 – 2200 HV, Korrosionsbeständigkeit < 0,005 mm/Jahr).

Beim Pressvorgang muss Folgendes berücksichtigt werden:

Pulvereigenschaften

WC-Partikelgröße (0,12 μm), Fließfähigkeit (<25 s/50 g, GB/T 14822010) und Bindemittelphasenverhältnis (615 Gew.-%).

Knüppelform

Einfach (z. B. ein Prüfstab 5×5×35 mm) oder komplex (z. B. ein Werkzeug, eine Form).

Produktionseffizienz

Große Chargen (>1000 Stück/Stunde) oder kleine Chargen (<100 Stück).

kosten

Ausrüstung (505 Millionen Yuan), Formen (1,1 Millionen Yuan), Energieverbrauch (0,55 kWh/kg). Dieser Artikel analysiert die Eigenschaften, Anwendbarkeit, Vor- und Nachteile von fünf Hauptpressverfahren gemäß Standards wie GB/T 345052017 (Pulveraufbereitung) und GB/T 38512015 (Festigkeit).

2. Eigenschaften, Anwendbarkeit sowie Vor- und Nachteile des Hartmetallpressverfahrens

Nachfolgend finden Sie eine detaillierte Beschreibung der fünf Pressverfahren, verbunden mit Prozessparametern, Ausrüstung, anwendbaren Szenarien sowie Vor- und Nachteilen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.1 Matrizenpressen

Merkmale des Matrizenpressprozesses

Prinzip des Matrizenpressens

Das gemischte Material (WC + Ni / Co, D50 50150 μm) wird in eine Stahlform gefüllt und mit einer hydraulischen Presse in einer oder zwei Richtungen zu einem Rohling gepresst.

Pressparameter

Druck: 100300 MPa.

Haltezeit: 530 Sekunden.

Form : Hochfester Stahl (HRC 6065), Oberfläche Ra <0,4 μm .

Rohlingsdichte: 50-60% der theoretischen Dichte ($\sim 810\text{ g/cm}^3$) .

Matrizenpressenausrüstung

Automatische Hydraulikpressen (101.000 Tonnen) , beispielsweise die deutsche Dorst TPA-Serie.

Matrizenpressverfahren

Compoundierung (Nassmahlung, PEG 12 Gew.- %).

Formen (automatische Befüllung, Homogenität >90%).

Pressen (100–300 MPa, 530 s).

Entformen (Trennmittel aufsprühen, Haftkraft <0,1 N).

Nachbearbeitung von Hartmetallrohlingen aus dem Gesenkpressen

Kanten beschneiden und Maße prüfen ($\pm 0,1\text{ mm}$).

Anwendbarkeit beim Matrizenpressen

Form

Einfache geometrische Formen, wie etwa Prüfstäbe (5×5×35 mm), Zylinder und Würfel.

Marke

YN6, YG15 (normale Partikelgröße 0,52 μm) .

Ertrag

Große Stückzahlen (>1000 Stück/Std.), zB Einsätze, Bohrrohlinge.

Vorteile des Matrizenpressens

Hohe Effizienz: Einzelmodus 1020 Stück/Minute, hoher Automatisierungsgrad (>90 %).

Niedrige Kosten: Ausrüstung (501 Millionen Yuan), Form (150.000 Yuan/Set).

Hohe Maßgenauigkeit: $\pm 0,1\text{ mm}$, Oberfläche Ra <0,8 μm .

Nachteile des Matrizenpressens

Dichtegradient: Durch unidirektionales Pressen wird die Mittendichte um 510 % reduziert

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(bidirektionale Verbesserung auf <3 %).

Komplexe Formen sind begrenzt: Die Form ist komplex und die Kosten steigen um 50–100 %.

Formverschleiß: Muss nach 10,5 Millionen Mal ausgetauscht werden (Kosten 120.000 Yuan).

Beispiel für das Formenpressen :

YN6-Teststab (5×5×35 mm): 200 MPa, 10 s, Dichte ~9 g/cm³, Festigkeit 1,8 GPa (Sandvik, 2023).

Standard :

GB/T 345052017: Abweichung der Rohlingsdichte <±5 %.

GB/T 3851:2015: Überprüfung der Prüfstabfestigkeit.

2.2 Kaltisostatisches Pressen (CIP)

Merkmale des Kaltisostatischen Pressens (CIP) :

Prinzip : Das gemischte Material wird in eine flexible Form (z. B. einen Gummibeutel) gefüllt, in eine Hochdruckflüssigkeit (Öl/Wasser) gelegt und in alle Richtungen gleichmäßiger Druck ausgeübt.

Parameter des kaltisostatischen Pressens (CIP) :

Druck: 200400 MPa.

Haltezeit: 30120 Sekunden.

Form : Gummi/PU (Druckfestigkeit > 500 MPa).

Rohlingsdichte: 6070 % der theoretischen Dichte (~9,511 g/cm³).

Ausrüstung für kaltisostatisches Pressen (CIP)

CIP-Maschinen (100–1000 MPa), wie beispielsweise die Quintus QIC-Serie.

Kaltisostatisches Pressverfahren (CIP) :

Mischen (Hochenergie-Kugelmahlen, 1624 h).

Abfüllen in einen Beutel (Vakuumversiegelung, Luftleckrate <0,01 %).

Pressen (200–400 MPa, 30–120 s).

Entformen (Waschen, Trocknen bei 80°C).

Anwendbarkeit des kaltisostatischen Pressens (CIP) :

Formen : Mittlere bis große Knüppel, wie Stangen (Ø 1050 mm), Platten.

Qualität : YN10, YG8 (Korngröße 0,51,5 µm).

Produktionsvolumen : Mittlere Chargen (100–500 Stück/Stunde), z. B. Bergbauwerkzeuge.

Vorteile des kaltisostatischen Pressens (CIP) :

Gleichmäßige Dichte: Gleicher Druck in alle Richtungen, Dichteabweichung <1 % (35 % beim Formen).

Passend für große Größen: Rohlinge Ø 100 mm, Länge 500 mm.

Reduzierung von Defekten: Mikrorissrate um 50 % reduziert, Porosität <0,005 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Nachteile des kaltisostatischen Pressens (CIP) :

Geringe Effizienz: 15 Minuten für eine einzelne Charge und die Leistung ist 50 % niedriger als beim Formen.

Hohe Kosten: Ausrüstung (2005 Millionen Yuan), Energieverbrauch (23 kWh/kg).

Die Maßgenauigkeit ist etwas geringer: $\pm 0,20,5$ mm, und eine Nachbearbeitung ist erforderlich.

Beispiel für kaltisostatisches Pressen (CIP) :

YN10-Stab ($\varnothing 20 \times 330$ mm): 300 MPa, 60 s, Dichte ~ 10 g/cm³, KIC 9 MPa·m^{1/2} (ScienceDirect, 2021).

Normen für das kaltisostatische Pressen (CIP) :

GB/T 183762014: Rohlingsporosität $< 0,01$ %.

GB/T 38502015: Dichteüberprüfung.

2.3 Heißisostatisches Pressen (HIP, Pressen + Sintern)

Merkmale des Heißisostatischen Pressens (HIP, Pressen + Sintern) :

Prinzip : Das Pulver wird direkt unter hoher Temperatur und hohem Druck (Ar- Atmosphäre) gepresst und gesintert, wobei sowohl die Formgebung als auch die Verdichtung berücksichtigt werden .

Parameter des Heißisostatischen Pressens (HIP, Pressen + Sintern) :

Temperatur: 1350–1450 °C.

Druck: 100200 MPa.

Atmosphäre: Argon ($> 99,99$ %), Druck 50150 MPa.

Barrendichte: $> 99,9$ % der theoretischen Dichte ($\sim 14,515$ g/cm³).

Ausrüstung : HIP-Ofen, z. B. Quintus HIP-Serie.

Verfahren :

Mischmaterialien (Ultrafeinkörnung, D50 30100 μ m) .

Verpackung (Stahl-/Titandose, Vakuum $< 10^{-3}$ Pa) .

HIP (1350–1450 °C, 100–200 MPa, 24 Stunden).

Entschalen (mechanisches Schälen, Ra $< 0,8$ μ m) .

Anwendbarkeit des Heißisostatischen Pressens (HIP, Pressen + Sintern) :

Form : komplexe und große Teile, wie z. B. Werkzeuge und Formen für die Luftfahrt.

Qualität : YN8N (ultrafeine Körnung $< 0,5$ μ m) .

Produktionsvolumen : kleine **Chargen** (< 50 Stück/Charge), Produkte mit hoher Wertschöpfung.

Vorteile des Heißisostatischen Pressens (HIP, Pressen + Sintern) :

Hohe Dichte: $> 99,9$ %, Porosität $< 0,001$ %, Festigkeit um 1015 % erhöht.

Komplexe Formen: Keine Form erforderlich, geeignet für Teile mit Sonderformen (Genauigkeit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

±0,1 mm).

Hervorragende Leistung: Kornkontrolle <0,5 µm , Härte um 510 % erhöht (1800–2200 HV).

Nachteile des Heißisostatischen Pressens (HIP, Pressen + Sintern) :

Hohe Kosten: Ausrüstung (500–1000 Millionen Yuan), Energieverbrauch (5 kWh/kg).

Geringe Effizienz: 46 Stunden für eine einzelne Charge, Leistung <10 Stück/Stunde.

Komplexe Verpackung: Stahl kann 5.100 Yuan pro Stück kosten.

Beispiel für Heißisostatisches Pressen (HIP, Pressen + Sintern) :

YN8N-Werkzeugrohling: 1400 °C, 150 MPa, 3 Stunden, Dichte 14,8 g/cm³ , Härte 1800 HV (Sandvik, 2023).

Standards für Heißisostatisches Pressen (HIP, Pressen + Sintern) :

GB/T 79972017: Härteprüfung.

GB/T 51692013: Porosität <0,001 %.

2.4 Extrusion

Merkmale des Extrusionsprozesses :

Prinzip : Das gemischte Material mit dem Bindemittel (Wachs, Paraffin 515 Gew.- %) zu einer Paste verrühren und durch einen Schneckenextruder kontinuierliche Blöcke (wie Stäbe und Rohre) extrudieren.

Extrusionsparameter :

Druck: 1050 MPa.

Temperatur: 50–100 °C (Erweichung des Klebstoffs).

Extrusionsgeschwindigkeit: 0,11 m/min.

Rohlingsdichte: 50-60% der theoretischen Dichte (~810 g/cm³) .

Ausrüstung : Ein-/Doppelschneckenextruder, z. B. Haake Rheomex .

Extrusionsprozess :

Mischen (Nassmahlung + Bindemittel, D50 80150 µ m) .

Vorwärmen (50–100 °C, Viskosität 10³ 10⁴ Pa·s) .

Extrusion (Ø 120 mm, Länge >1 m).

Schneiden, Entfetten (400-600°C, H2).

Extrusionsanwendbarkeit :

Form : Lange Streifen, z. B. Bohrstangen (Ø 120 mm), Rohre.

Qualität : YG8, YN10 (Korngröße 0,51,5 µ m) .

Leistung : Mittlere bis große Mengen (500–2000 m/h).

Vorteile der Extrusion :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Kontinuierliche Produktion: geeignet für lange Knüppel (> 1 m), hohe Effizienz (500 m/Stunde).

Flexible Form: verstellbare Form, Ø 150 mm.

Die Kosten sind moderat: Ausrüstung (100,2 Millionen Yuan), Form (0,52 Millionen Yuan).

Nachteile der Extrusion :

Bindemittelbehandlung: Die Entfettung dauert 48 Stunden und der Restkohlenstoff erhöht sich um 0,01–0,02 %.

Die Dichte ist etwas niedriger: 50–60 %, sodass eine HIP-Nachbehandlung erforderlich ist.

Eingeschränkte Genauigkeit: ±0,20,3 mm, Schleifen erforderlich.

Extrusionsbeispiel :

YG8-Bohrstange (Ø 10 × 330 mm): 30 MPa, 80 °C, Dichte ~9 g/cm³, Festigkeit 2,0 GPa (ScienceDirect, 2021).

Extrusionsstandard :

GB/T 183762014: Blank-Gleichmäßigkeit > 90 %.

GB/T 53142011: Überprüfung von Kohlenstoffrückständen .

2.5 Metallspritzguss (MIM)

Prozessmerkmale :

Prinzip : Das gemischte Material wird mit einem Polymerbindemittel (PP, PE 1020 Gew.- %) vermischt, in eine Präzisionsform gespritzt und anschließend nach der Bildung einer komplexen Form entfettet und gesintert.

Parameter :

Druck: 50150 MPa.

Temperatur: 150–200 °C (geschmolzener Klebstoff).

Einspritzgeschwindigkeit: 10100 cm³/s.

Rohlingsdichte: 50-60% der theoretischen Dichte (~810 g/cm³) .

Ausstattung : Spritzgussmaschine, z. B. Arburg Allrounder.

Verfahren :

Mischen (Hochenergie-Kugelmahlen + Bindemittel, D50 50100 µ m) .

Injektion (150–200 °C, 50–150 MPa).

Entfetten (Lösungsmittel + thermisches Entfetten, 400-600°C).

Vorsintern (800-1000°C, H₂).

Anwendbarkeit :

Form : Komplexe, kleine Teile wie Mikrowerkzeuge, Zahnräder (<50 mm).

Sorte : YN8N, YG6X (ultrafeine Körnung < 0,5 µ m) .

Produktionsvolumen : mittlere Charge (100–1000 Stück/Stunde).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Vorteil :

Komplexe Formen: Genauigkeit $\pm 0,05$ mm, geeignet für Mikroteile (< 10 mm).

Massenproduktion: Einzelform 1050 Stück/Minute.

Hohe Oberflächenqualität: Ra $< 0,4$ μm , keine Nachbearbeitung erforderlich.

Manko :

Hohe Kosten: Ausrüstung (200,3 Millionen RMB), Form (5,1 Millionen RMB).

Das Entfetten ist kompliziert: 8–12 Stunden, der Restkohlenstoffgehalt steigt um 0,02–0,05 %.

Große Schrumpfung: 1520 %, erfordert präzise Form.

Beispiele :

YN8N-Mikrowerkzeug (5×5×10 mm): 100 MPa, 180°C, Dichte ~ 9 g/cm³, Härte 1800 HV (Sandvik, 2023).

Standard :

GB/T 345052017: Rohlingsgenauigkeit $\pm 0,05$ mm.

GB/T 5169-2013: Porositätsprüfung.

3. Prozessvergleich

Tabelle 1: Vergleich der Hartmetall-Pressverfahren

Technologie	Druck (MPa)	Dichte %	Anwendbare Form	Ertrag Stück/Stunde	Genauigkeit mm	kosten	Vorteil	Mangel
Formen	100300	5060	Einfach (Prüfstab, Zylinder)	>1000	$\pm 0,1$	Niedrig	Hohe Effizienz, niedrige Kosten, hohe Präzision	Dichtegradienten, komplexe Formbeschränkungen, Matrizenverschleiß
Kaltisostatisches Pressen	200400	6070	Mittel und groß (Stäbe, Platten)	100500	$\pm 0,20,5$	Mitte	Gleichmäßige Dichte, große Größe, wenige Defekte	Geringe Effizienz, hohe Kosten, etwas geringere Präzision
Heißisostatisches Pressen	100200	>99,9	Komplex (Werkzeuge, Formen)	<50	$\pm 0,1$	hoch	Hohe Dichte, komplexe Form, hervorragende Leistung	Hohe Kosten, geringe Effizienz, komplexe Verpackung
Extrusion	1050	5060	Lange Streifen (Stäbe, Rohre)	5002000 m	$\pm 0,20,3$	Mitte	Kontinuierliche Produktion, flexible Form, moderate Kosten	Bindemittelbehandlung, geringe Dichte, eingeschränkte Präzision
Spritzguss	50150	5060	Komplexe kleine (Mikrowerkzeuge)	1001000	$\pm 0,05$	hoch	Komplexe Formen, Massenproduktion	Hohe Kosten, aufwendiges Entfetten

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technologie	Druck (MPa)	Dichte %	Anwendbare Form	Ertrag Stück/Stunde	Genauigkeit mm	kosten	Vorteil	Mangel
							hohe Oberflächenqualität	große Schrumpfung

4. Anwendbarkeit und Auswahlleitfaden

Geformt :

Anwendbar : große Mengen, einfache Formen, wie z. B. YN6-Prüfstäbe (5 × 5 × 35 mm), Klingen.

Gründe für die Auswahl : niedrige Kosten (Ausrüstung 501 Millionen Yuan), hohe Effizienz (> 1000 Stück/Stunde), Genauigkeit ± 0,1 mm.

Beispiel : YG15-Klinge, 200 MPa, Dichte ~9 g/cm³, Festigkeit 2,0 GPa .

Kaltisostatisches Pressen :

Anwendbar auf : mittlere und große Knüppel, wie z. B. YN10-Stangen (Ø 20 × 330 mm), Bergbauwerkzeuge.

Gründe für die Auswahl : gleichmäßige Dichte (Abweichung <1%), geeignet für lange Größen (>500 mm), wenige Mikrorisse.

Beispiel : YN10-Stab, 300 MPa, KIC 9 MPa·m^{1/2}.

Heißisostatisches Pressen :

Anwendbar : Hochleistungs- und komplexe Teile, wie etwa YN8N-Flugzeugwerkzeuge und -formen.

Auswahlgrund : Dichte > 99,9 %, Härte um 5–10 % erhöht (1800–2200 HV), kein sekundäres Sintern erforderlich.

Beispiel : YN8N-Werkzeugrohling, 1400 °C, 150 MPa, Härte 1800 HV.

Extrusion :

Anwendbar für : lange Streifen, wie z. B. YG8-Bohrstangen (Ø 120 mm).

Gründe für die Auswahl : Kontinuierliche Produktion (500 m/Stunde), moderate Kosten, geeignet für Stangen/Rohre.

Beispiel : YG8-Stab, 30 MPa, Dichte ~9 g/cm³ .

Spritzguss :

Anwendbar : komplexe Kleinteile, wie z. B. YN8N-Mikrowerkzeug (<10 mm).

Grund für die Auswahl : Hohe Präzision (±0,05 mm), Oberfläche Ra <0,4 μ m , geeignet für Produkte mit hoher Wertschöpfung.

Beispiel : YN8N-Mikrowerkzeug, 100 MPa, Härte 1800 HV.

Tabelle 2: Pressverfahrenseignung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Technologie	Anwendbare Klassen	Anwendbare Form	Ertrag	Typische Anwendungen
Formen	YN6, YG15	Prüfstäbe, Klingen, Zylinder	Große Chargen (>1000)	Messer, Prüfstäbe
Kaltisostatisches Pressen	YN10, YG8	Stangen und Platten	Mittlere Charge (100500)	Bergbauwerkzeuge, lange Stöcke
Heißisostatisches Pressen	YN8	Komplexe Werkzeuge und Formen	Kleine Chargen (<50)	Luftfahrtwerkzeuge, High-End-Formen
Extrusion	YG8, YN10	Stäbe und Rohre	Mittlere bis hohe Charge (500–2000 m)	Bohrstange, Drahtziehstein
Spritzguss	YN8N, YG6X	Mikrowerkzeuge, Zahnräder	Mittlere Charge (1001000)	Präzisionswerkzeuge, Mikroteile

5. Fazit

Jeder Hartmetall-Pressprozess hat seine eigenen Eigenschaften und muss auf der Grundlage von Form, Leistung, Leistung und Kosten ausgewählt werden:

Formen : hohe Effizienz, niedrige Kosten, geeignet für große Mengen einfacher Formen (YN6-Teststäbe), aber der Dichtegradient beträgt 35 %.

Kaltisostatisches Pressen : gleichmäßige Dichte, geeignet für mittlere und große Knüppel (YN10-Stangen), jedoch mit etwas geringerer Genauigkeit ($\pm 0,2$ mm).

Heißisostatisches Pressen : Dichte > 99,9 %, geeignet für komplexe Hochleistungsteile (YN8N-Werkzeuge), aber hohe Kosten und geringe Effizienz.

Extrusion : Kontinuierliche Produktion langer Streifen (YG8-Stangen), jedoch ist eine Entfettung erforderlich und die Genauigkeit ist begrenzt ($\pm 0,2$ mm).

Spritzguss : hochpräzise komplexe Kleinteile (YN8N-Mikrowerkzeug), aber das Entfetten ist kompliziert und kostspielig .

Standard :

GB/T 345052017 : Abweichung der Rohlingsdichte $\leq \pm 5$ %, Genauigkeit $\pm 0,1$ mm.

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

GB/T 14822010 : Fließfähigkeit < 25 s/50 g.

GB/T 38512015 : Biegefestigkeit (Prüfstab 1,8–2,5 GPa) .

GB/T 7997-2017 : Härte (1400–2200 HV).

GB/T 51692013 : Porosität (A02B00C00).

Zukünftige Trends : Automatisiertes Formen (Effizienzsteigerung um 20 %), 3D-Druck (Genauigkeit komplexer Formen $\pm 0,01$ mm) und umweltfreundliche Entfettungstechnologie (Restkohlenstoff $< 0,01$ %) werden die Effizienz und Leistung des Pressens verbessern.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

en.com

www.ch


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

1


www.chinatun


www.chinatungsten.com


www.chinatungsten.com

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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



Anhang:

Typen, Leistung und Anpassungsfähigkeit von Hartmetall-Matrizenpressen

Das Gesenkpressen ist das am häufigsten verwendete Pressverfahren zur Herstellung von Hartmetallrohlingen. Das gemischte Material (WC+Ni /Co, Partikelgröße 50–150 μm) wird mithilfe hydraulischer oder mechanischer Vorrichtungen in eine Stahlmatrize gefüllt und mit einem unidirektionalen oder bidirektionalen Druck (100–300 MPa) beaufschlagt, um einen Rohling mit hoher Dichte (50–60 % der theoretischen Dichte, ca. 810 g/cm^3) zu formen. Dieser eignet sich für einfache geometrische Formen (z. B. Prüfstäbe $5 \times 5 \times 35$ mm, Klingen, Zylinder) und erfüllt die Anforderungen an Maßgenauigkeit ($\pm 0,1$ mm), Dichtegleichmäßigkeit (> 90 %) und Leistung (Biegefestigkeit 1,8–2,5 GPa , Härte 1400–2200 HV) gemäß nationalen Normen (z. B. GB/T 345052017, GB/T 38512015). Je nach Antriebsart, Automatisierungsgrad und Einsatzzweck gibt es verschiedene Typen von Gesenkpressen, darunter mechanische Pressen, hydraulische Pressen, Servopressen und automatische Gesenkpressen. Im Folgenden werden die Typen, Eigenschaften und Anwendungen von Hartmetall-Formanlagen detailliert beschrieben.

1. Übersicht

Die Formanlage für Hartmetall muss die folgenden Anforderungen erfüllen:

Druck : 100–300 MPa, wodurch eine Dichte des Blocks von 50–60 % ($\sim 810 \text{ g}/\text{cm}^3$) gewährleistet wird .

Genauigkeit : Formpositionierung $\pm 0,01$ mm, Rohlingsgröße $\pm 0,1$ mm (GB/T 345052017).

Schimmel : Hochfester Stahl (HRC 6065), Oberfläche Ra $< 0,4 \mu\text{m}$, Lebensdauer 10,5 Millionen Mal.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Effizienz : Großserienproduktion (>1000 Stück/Stunde), Automatisierungsgrad >90 %.

Anwendbarkeit : Geeignet für Hartmetallsorten (wie YN6, YG15, Korngröße 0,52 μm) und Formen (Prüfstäbe, Klingen).

Formanlagen werden je nach Antriebsart und Funktion in vier Kategorien unterteilt: mechanische Pressen, hydraulische Pressen, Servopressen und automatische Formpressen. Im Folgenden werden ihre Typen, Eigenschaften, Anwendungen sowie Vor- und Nachteile einzeln analysiert.

2. Arten von Hartmetall-Formgeräten

2.1 Mechanische Pressfunktionen

Antriebsart : Kurbelpleuel oder Exzenterrad, mechanisches Getriebe sorgt für Druck .

Parameter :

Druck: 50500 Tonnen (100300 MPa).

Hubgeschwindigkeit: 30120 Mal/Minute.

Leistung: Mittel (1050 kW).

Form : Einzel- oder Mehrfachform , Stahl (HRC 6065).

Ausstattung : Wie etwa die japanische Aida NC-Serie oder die deutsche Schuler MS-Serie.

Funktionsprinzip :

Das gemischte Material (WC + Ni / Co, PEG 12 Gew. %) wird automatisch in die Form geladen.

Kurbeltriebener Stößel, einseitiges Pressen (100–300 MPa, 510 s).

Entformung (pneumatisch/hydraulisch, Haftkraft <0,1 N).

Steuerung : SPS-Steuerung, Druckabweichung < ± 5 MPa, Positioniergenauigkeit $\pm 0,02$ mm.

Anwendung :

Qualität : YN6, YG15 (konventionelle Korngröße 0,52 μm) .

Form : Prüfstab (5 \times 5 \times 35 mm), Scheibe (\varnothing 1050 mm).

Leistung : Hohes Volumen (1000–5000 Stück/Stunde).

Szenario: Fertigung von Normteilen für Wendeschneidplatten und Bohrerrohlinge .

Vorteil :

Hohe Effizienz: 60120 Hübe/Minute, Leistung um 2030 % gesteigert (hydraulische Presse).

Niedrige Kosten: niedrige Geräte- und Wartungskosten.

Gute Stabilität: Die mechanische Struktur ist robust und hat eine lange Lebensdauer.

Manko :

Eingeschränkte Druckregulierung: fester Hub, 1020 % weniger Flexibilität.

Komplexe Formen sind begrenzt: Die Kosten für die Form sind hoch.

Dichtegradient: Die einseitige Komprimierungsabweichung beträgt 35 %, eine zweiseitige Verbesserung ist erforderlich.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beispiele :

YN6-Teststab: 200 MPa, 10 s, Dichte $\sim 9 \text{ g/cm}^3$, Festigkeit 1,8 GPa (Sandvik, 2023).

Standard :

GB/T 345052017: Abweichung der Rohlingsdichte $\leq \pm 5 \%$.

GB/T 1482-2010: Fließfähigkeit der Mischung $< 25 \text{ s/50 g}$.

2.2 Hydraulische Presse

Merkmale :

Antriebsmodus : Hydraulikzylinder sorgt für Druck, **ein-** oder zweiseitiges Drücken.

Parameter :

Druck: 1001000 Tonnen (100300 MPa).

Haltezeit: 530 Sekunden, Druckregelung $\pm 2 \text{ MPa}$.

Leistung: Mittelhoch (20–100 kW).

Form : Hochfester Stahl, Oberfläche $Ra < 0,4 \mu\text{m}$.

Ausstattung : Wie die deutschen Serien Lauffer und Dorst TPH.

Funktionsprinzip :

Mischen und Formen (automatische Befüllung, Homogenität $> 90\%$).

Antrieb durch Hydraulikzylinder, bidirektionales Pressen (oberer und unterer Druck 150–250 MPa).

Entformen (hydraulisches Auswerfen, Genauigkeit $\pm 0,01 \text{ mm}$).

Steuerung : CNC-System, Echtzeitüberwachung der Druck-/Wegkurve, Abweichung $\leq \pm 1 \%$.

Anwendung :

Qualität : YN10, YG8 (Korngröße $0,51,5 \mu\text{m}$).

Form : Prüfstab, Würfel, dünne Platte (Dicke 120 mm).

Leistung : Mittlere bis hohe Mengen (500–2000 Stück/Stunde).

Szenario : Werkzeugrohlinge, Formrohlinge.

Vorteil :

Einstellbarer Druck: 100–300 MPa, geeignet für verschiedene Marken (YN6, YN10).

Gleichmäßige Dichte: bidirektionales Pressen, Abweichung $< 2 \%$ (mechanisch 35 %).

Geeignet für mittelkomplexe Formen: 20 % mehr Formflexibilität.

Manko :

Etwas geringerer Wirkungsgrad: Hub 1030 Mal/Minute (mechanisch 60120 Mal).

Höhere Kosten: Die Wartungskosten für Ausrüstung und Hydrauliksystem sind mittel bis hoch.

Hoher Energieverbrauch: Der Energieverbrauch ist 50–100 % höher als bei mechanischen Pressen.

Beispiele :

YN10-Werkzeugrohling: 250 MPa, 15 Sekunden, Dichte $\sim 9,5 \text{ g/cm}^3$, KIC $9 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ (ScienceDirect, 2021).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Standard :

GB/T 183762014: Rohlingsporosität <0,01 %.

GB/T 3851:2015: Überprüfung der Prüfstabfestigkeit.

2.3 Servopresse

Antriebsmodus : **Servomotorbetrieben** , präzise Steuerung von Druck, Geschwindigkeit und Hubraum.

Parameter :

Druck: 50500 Tonnen (100300 MPa).

Hubgeschwindigkeit: einstellbar, 1100 Mal/Minute.

Leistung: Mittel (1580 kW).

Form : Stahl (HRC 6065), Mehrstationen.

Ausrüstung : wie etwa der japanische Komatsu H1F und die deutsche Schuler ServoLine .

Funktionsprinzip :

Mischen und Formen (Servofüllung, Homogenität >95%).

Servogetriebener Schlitten, Einzel-/Doppelpressung (Druckverlauf programmierbar).

Entformen (Servo-Auswerfen, Genauigkeit $\pm 0,005$ mm).

Steuerung : intelligente SPS + Touchscreen, Druckabweichung $< \pm 0,5$ MPa, Positionierung $\pm 0,005$ mm.

Anwendung :

Sorte : YN8N, YG6X (ultrafeine Körnung $< 0,5 \mu\text{m}$) .

Form : komplexe Klingen, dünnwandige Teile (Dicke 0,510 mm).

Leistung : Mittlere bis hohe Mengen (500–3000 Stück/Stunde).

Anwendungsszenarien : Luftfahrtwerkzeuge, Präzisionsformrohlinge .

Vorteil :

Hohe Präzision: Druck-/Wegkontrolle $\pm 0,5$ % , Größe $\pm 0,05$ mm.

Hohe Flexibilität: programmierbarer Hub, anpassbar an komplexe Formen (niedrigere Formkosten).

Hohe Energieeffizienz: Der Energieverbrauch ist 20–30 % niedriger als bei hydraulischen Pressen.

Manko :

Hohe Kosten: Die Geräte und das Servosystem verursachen hohe Wartungskosten.

Etwas langsamere Geschwindigkeit: 1050 Mal/Minute für komplexe Teile.

Hohe technische Anforderungen: Professionelle Programmierung und Fehlerbehebung sind erforderlich.

Beispiele :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

YN8N-Einsatz: 200 MPa, 10 s, Dichte $\sim 9,2 \text{ g/cm}^3$, Härte 1800 HV (Sandvik, 2023).

Standard :

GB/T 345052017: Rohlingsgenauigkeit $\pm 0,05 \text{ mm}$.

GB/T 7997-2017: Härteprüfung (indirekt).

2.4 Automatische Matrizenpresse

Merkmale :

Antriebsart : Hydraulik- oder Servoantrieb, integriertes Automatisierungssystem (Füllen, Pressen, Entformen, Fördern).

Parameter :

Druck: 100600 Tonnen (100300 MPa).

Produktionszyklus: 520 Sekunden/Stück.

Leistung: Mittelhoch (30–150 kW).

Form : Mehrstationenform (416 Kavitäten), Stahl (HRC 6065).

Ausrüstung : Wie zum Beispiel die deutsche Dorst TPA, die Schweizer Osterwalder CA-Serie.

Funktionsprinzip :

Automatische Befüllung: Vibrations-/Servobefüllung, Gleichmäßigkeit $> 95 \%$.

Multiaxiales Pressen: bidirektional oder multidirektional, Druck 150–300 MPa.

Automatische Entformung : Der Roboterarm entnimmt die Teile und erhöht so die Effizienz um 30 %.

Förderband: Förderbandausgang, Erkennungsgröße ($\pm 0,1 \text{ mm}$).

Steuerung : Industrie-PC + Sichtprüfung, Automatisierungsgrad $> 95 \%$, Abweichung $< \pm 0,5 \%$.

Anwendung :

Marke : YN6, YN10, YG15.

Form : Klingen, Prüfstäbe, Sonderformteile (komplexe Werkzeugrohlinge).

Leistung : Ultragroße Chargen (2000–10000 Stück/Stunde).

Szenario : Großserienproduktion von Schneidwerkzeugen und Standardteilen.

Vorteil :

Ultrahohe Effizienz: Zykluszeit 510 Sekunden/Stück, um 50 % gesteigerte Leistung (hydraulische Presse).

Starke Automatisierung: Der Arbeitsaufwand wird um 70–80 % reduziert und die Konsistenz liegt bei $> 95 \%$.

Hohe Präzision: Größe $\pm 0,050,1 \text{ mm}$, Dichteabweichung $< 1 \%$.

Manko :

Extrem hohe Kosten: Die Kosten für Ausrüstung und Formen sind extrem hoch.

Komplexe Wartung: Die Ausfallrate des Automatisierungssystems steigt um 10 % und die Wartungskosten sind hoch.

Einzelanwendung: Kundenspezifische Produktionslinie erforderlich, 20 % geringere Flexibilität.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Beispiele :

YG15-Klinge: 250 MPa, 8 Sekunden, Dichte ~9,5 g/cm³, Festigkeit 2,0 GPa (Sandvik, 2023).

Standard :

GB/T 183762014: Blank-Gleichmäßigkeit > 95 %.

GB/T 3851:2015: Überprüfung der Prüfstabfestigkeit.

3. Vergleich der Gerätetypen

Tabelle 1: Vergleich der Hartmetall-Formanlagentypen

Gerätetyp	Fahrmodus	Drucktonnen	Stück/Stunde	Genauigkeit mm	kosten	Vorteil	Mangel
Mechanische Presse	Kurbel Exzenterrad	50500	10005000	±0,1	Niedrig	Hohe Effizienz, niedrige Kosten und gute Stabilität	Eingeschränkte Druckregulierung, begrenzte komplexe Formen, Dichtegradienten
Hydraulische Presse	Hydraulikzylinder	1001000	5002000	±0,1	Mitte	Einstellbarer Druck, gleichmäßige Dichte, geeignet für mittlere und komplexe Formen	Etwas geringere Effizienz, höhere Kosten und hoher Energieverbrauch
Servopresse	Servomotor	50500	5003000	±0,05	hoch	Hohe Präzision, Flexibilität und Energieeffizienz	Hohe Kosten, langsame Geschwindigkeit, hohe technische Anforderungen
Automatische Formmaschine	Hydraulik/Servo	100600	200010000	±0,050,1	Sehr hoch	Höchste Effizienz, starke Automatisierung und hohe Präzision	Extrem hohe Kosten, komplexe Wartung und Einzelanwendung

4. Anwendbarkeit und Auswahlleitfaden

Mechanische Presse :

Anwendbar : hohes Volumen, einfache Formen, wie z. B. YN6-Teststäbe, YG15-Scheiben.

Gründe für die Auswahl : niedrige Kosten, hohe Effizienz (1000–5000 Stück/Stunde), geeignet für Standardteile.

Beispiel : YN6-Teststab, 200 MPa, Dichte ~9 g/cm³.

Hydraulische Presse :

Anwendbar auf : mittlere bis große Chargen, mittelkomplexe Formen, wie z. B. YN10-Werkzeugrohlinge, YG8-Dünnpfatten.

Grund für die Auswahl : Bidirektionales Pressen, Dichteabweichung <2 %, geeignet für

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

verschiedene Marken.

Beispiel : YN10-Werkzeugrohling, 250 MPa, KIC 9 MPa·m^{1/2}.

Servopresse :

Anwendbar : hochpräzise, komplexe Formen, wie z. B. YN8N-Klingen, dünnwandige YG6X-Teile.

Gründe für die Auswahl : Genauigkeit ±0,05 mm, programmierbare Steuerung, geeignet für Luftfahrt-/Präzisionsformen.

Beispiel : YN8N-Einsatz, 200 MPa, Härte 1800 HV.

Automatische Formmaschine :

Anwendbar auf : Ultra-High-Charge-Teile, Standard-/Sonderformteile, wie z. B. YG15-Klingen, YN6-Prüfstäbe.

Grund für die Auswahl : Automatisierung >95 %, Leistung 2000–10000 Stück/Stunde, geeignet für die Großserienproduktion.

Beispiel : YG15-Klinge, 250 MPa, Festigkeit 2,0 GPa .

Tabelle 2: Eignung der Formgeräte

Gerätetyp	Anwendbare Klassen	Anwendbare Form	Leistung (Stück/Stunde)	Typische Anwendungen
Mechanische Presse	YN6, YG15	Prüfstäbe, Scheiben	10005000	Standardklingen, Prüfstäbe
Hydraulische Presse	YN10, YG8	Werkzeugrohlinge, Dünnplatten	5002000	Schneidwerkzeuge und Formrohlinge
Servopresse	YN8N, YG6X	Komplexe Schaufeln, dünnwandige Teile	5003000	Luftfahrtwerkzeuge, Präzisionsformen
Automatische Formmaschine	YN6, YN10, YG15	Klingen, Prüfstäbe, Sonderformteile	200010000	Großzerspannungswerkzeuge und Normteile

5. Fazit

Zu den Arten von Hartmetall-Formgeräten gehören:

Mechanische Presse

Niedrige Kosten, hohe Effizienz, geeignet für einfache Formen mit hohem Volumen (YN6-Teststäbe), jedoch mit einem Dichtegradienten von 35 %.

Hydraulische Presse

Einstellbarer Druck, gleichmäßige Dichte, geeignet für mittlere bis große Chargen mittlerer komplexer Formen (YN10-Werkzeugrohlinge), aber hoher Energieverbrauch.

Servopresse

Hohe Präzision, starke Flexibilität, geeignet für komplexe und hochpräzise Teile (YN8N-Klingen), aber die Kosten sind hoch.

Automatische Formmaschine

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ultrahohe Effizienz, starke Automatisierung, geeignet für die Produktion im großen Maßstab (YG15-Blätter), aber extrem teuer und komplex in der Wartung.

Standard :

GB/T 345052017 : Abweichung der Rohlingsdichte $<\pm 5\%$, Genauigkeit $\pm 0,1$ mm.

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

GB/T 14822010 : Mischfließfähigkeit < 25 s/50 g.

GB/T 38512015 : Biegefestigkeit (Prüfstab 1,8–2,5 GPa) .

Zukünftige Trends : Intelligente Servopressen (Genauigkeit $\pm 0,01$ mm), automatische Mehrstationen-Formmaschinen (Produktionssteigerung um 30 %) und grüne Energieeffizienztechnologie (Senkung des Energieverbrauchs um 20 %) werden die Entwicklung von Formgeräten dominieren.

Anhang:

Arten, Ausrüstung, Eigenschaften und Anpassungsfähigkeit des isostatischen Hartmetallpressens

Isostatisches Pressen von Hartmetall ist ein Verfahren zur Herstellung hochdichter Presslinge (60–70 % der theoretischen Dichte, ca. 9,511 g/cm³) durch Pressen einer Mischung (WC + Ni / Co, Partikelgröße 50–150 µm) mit gleichmäßigem Druck in alle Richtungen. Es wird häufig zur Herstellung von Hartmetall-Prüfstäben, Werkzeugrohlingen und Formen eingesetzt. Sein Hauptvorteil ist die gleichmäßige Dichte (> 95 %, Abweichung < 1 %). Im Vergleich zum Gesenkpressen (Dichteabweichung 35 %) eignet es sich besser für mittelgroße oder komplex geformte Knüppel (wie Stangen mit Ø 1050 mm, Platten) und erfüllt die Maßgenauigkeit (±0,20,5 mm), Porosität (<0,01 %) und Leistung (Biegefestigkeit 1,82,5 GPa, Härte 14002200 HV), die von nationalen Normen (wie GB/T 345052017, GB/T 183762014) gefordert werden. Das isostatische Pressen wird je nach Temperatur und Verfahren in kaltisostatisches Pressen (CIP) und heißisostatisches Pressen (HIP) unterteilt.

Im Folgenden werden die Typen, Geräte, Eigenschaften, Anwendbarkeit und der Vergleich mit dem Formen des isostatischen Pressens von Hartmetall erläutert, der Prozessteil verbessert und verfeinert, spezifische Gerätemodelle, Parameteroptimierungen, Anwendungsfälle und Vergleichstabellen hinzugefügt und nationale Standards und Branchenpraktiken kombiniert (wie Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021).

1. Übersicht

Beim isostatischen Pressen von Hartmetall wird der Rohling mit gleichmäßigem Druck (100–400 MPa) gepresst. Dadurch wird der Dichtegradient (35 %) des Formpressens eliminiert, die Gleichmäßigkeit des Rohlings (> 95 %) und die anschließende Sinterleistung (Dichte > 99,5 %, Porosität < 0,01 %) verbessert. Im Vergleich zum Formpressen bietet das isostatische Pressen die Vorteile einer gleichmäßigen Dichte und der Eignung für komplexe Formen. Die Nachteile sind jedoch die geringe Effizienz und die hohen Kosten. Das isostatische Pressverfahren muss folgende Anforderungen erfüllen:

Druck : 100400 MPa (CIP 200400 MPa, HIP 100200 MPa).

Schimmel : Flexible Form (CIP: Gummi/PU; HIP: Stahl-/Titantank).

Rohlinge : mittelgroß bis groß (Ø 10–100 mm, Länge 500 mm) oder komplexe Formen (z. B. Werkzeuge, Formen).

Effizienz : niedrige bis mittlere Chargen (CIP: 100–500 Stück/Stunde; HIP: < 50 Stück/Charge).

Anwendbarkeit : Geeignet für Hartmetallsorten (wie YN6, YN10, YN8N, Korngröße 0,12 µm).

Das isostatische Pressen wird in kaltisostatisches Pressen (CIP) und heißisostatisches Pressen (HIP) unterteilt, die sich für unterschiedliche Formen, Leistungen und Produktionsanforderungen eignen. Im Folgenden werden ihre Typen, Ausrüstung, Eigenschaften, Anwendbarkeit und der Vergleich mit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

dem Formenbau analysiert, insbesondere der detaillierte Prozessteil.

2. Arten, Ausrüstung, Eigenschaften und Anwendbarkeit des isostatischen Hartmetallpressens

2.1 Kaltisostatisches Pressen (CIP)

Typ und Prinzip :

Beutel -CIP : Das gemischte Material wird in eine flexible Form (z. B. einen Gummibeutel) gefüllt, in eine Hochdruckflüssigkeit (Wasser/Öl) getaucht und mit gleichmäßigem Druck in alle Richtungen gepresst. Es eignet sich für eine Vielzahl von Formen (z. B. Sonderformteile, Stäbe).

Beutel -CIP : Das gemischte Material wird in eine feste, flexible Form gefüllt und die Flüssigkeit durch die Formwand gepresst. Geeignet für hohe Effizienz und Standardformen (z. B. zylindrische Stangen).

Ausrüstung :

Spezifisches Modell :

Quintus Technologies QIC 2.4x4.8 : Kammer \varnothing 600 mm \times 1800 mm, Druck 200400 MPa, geeignet für große Stangen.

Avure Technologies V3 CIP : Kammer \varnothing 400 mm \times 1200 mm, Druck 250–350 MPa, geeignet für mittelgroße Teile.

EPSI CIP 400200 : Kammer \varnothing 300 mm \times 1000 mm, Druck 200400 MPa, geeignet für kleine und mittlere Chargen.

Spezifikation :

Druck: 200–400 MPa (typischerweise 300 MPa).

Kammerabmessungen: \varnothing 100–1000 mm, Höhe 500–2000 mm.

Leistung: Mittelhoch (50–150 kW).

Steuerung: SPS+Touchscreen , Druckabweichung $\leq \pm 2$ MPa, Positionierung $\pm 0,1$ mm.

Zykluszeit: 15 Minuten/Charge (25 Minuten bei Nassbeutelmethode , 12 Minuten bei Trockenbeutelmethode) .

Merkmale :

Prozessparameter :

Druck: 200400 MPa (Optimierung: 300 MPa, Dichte um 5 % erhöht).

Haltezeit: 30120 Sekunden (Optimierung: 60 Sekunden, Gleichmäßigkeit $>95\%$).

Form : Gummi/PU (Druckfestigkeit >500 MPa, Shore-A-Härte 7090), Lebensdauer 1000–5000 Mal.

Rohlingsdichte: 6070 % der theoretischen Dichte ($\sim 9,511$ g/cm³) .

Flüssiges Medium: Wasser/Öl (mit Rostschutzmittel, pH 78, zum Recycling).

Hartmetall-Kaltisostatisches Pressverfahren (CIP)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Mischvorbereitung

Rohstoffe: WC (D50 50150 μm), Ni/Co (615 Gew %), Additive (Cr3C2/VC 0,10,5 Gew %).
Verfahren: Hochenergie-Kugelmahlen (1624 h, Kugel-Material-Verhältnis 10:1, Rotationsgeschwindigkeit 200–300 U/min), Zugabe von PEG (0,1–0,2 Gew.-%) als Formmittel.
Prüfung: Partikelgröße D50 <150 μm , Fließfähigkeit <25 s/50 g (GB/T 1482-2010), Feuchtigkeit <0,1 %.

Formfüllung

Form : Gummi-/PU-Beutel (Wandstärke 25 mm, Druckfestigkeit >500 MPa), innen mit Schmiermittel (Silikonöl, 0,01 mm) versehen.
Befüllung: Automatischer Füller (Vibrationsfrequenz 50100 Hz), Füllichte 23 g/cm^3 , Homogenität >90%.
Versiegelung: Vakuumversiegelung (<10⁻² Pa, Luftleckrate <0,01 %) mit einem Heißsiegelgerät (Temperatur 150–200 °C).
Inspektion: Wiegen ($\pm 0,1$ g), Röntgeninspektion der Formintegrität (keine Blasen/Risse).

Hochdruckpressen :

Ausrüstung: Quintus QIC 2,4 x 4,8 (Nassbeutelmethode) oder Avure V3 CIP (Trockenbeutelmethode).
Parameter: Druck 300 MPa (Druckrate 510 MPa/s), Druckhaltung 60 Sekunden, flüssiges Medium (Wasser + 0,5 % Rostschutzmittel).
Verfahren: Bei der Nassbeutelmethode wird die Form in die Kavität eingetaucht, bei der Trockenbeutelmethode wird die Form in der Kavität fixiert und gleichmäßig Druck ausgeübt.
Überwachung: Echtzeitaufzeichnung des Druckverlaufs (Abweichung < ± 2 MPa), Temperatur 2030°C.

Entformen und Reinigen :

Entformung : manuell (Nassbeutelmethode) oder pneumatisch (Trockenbeutelmethode , Druck 0,51 MPa), Formbruchrate <0,5 %.
Reinigung: Ultraschallreinigung (40 kHz, 10 min) zum Entfernen von Öl-/Pulverrückständen.
Trocknung: Vakuumtrocknung (80°C, 2 Stunden, Druck <10⁻¹ Pa), Feuchtigkeit <0,05%.
Prüfungen: Größe ($\pm 0,2$ -0,5 mm), Dichte (~ 10 g/cm^3 , Abweichung <1%).

Qualitätskontrolle :

Aussehen: keine Risse, Verformungen, Oberfläche Ra <1,6 μm .
Eigenschaften: Dichte (GB/T 38502015), Porosität <0,01 % (GB/T 183762014).
Protokollierung: Chargenrückverfolgbarkeit (QR-Code), Speicherung der Misch-/Pressparameter.
Umgebung : Raumtemperatur (2030 °C), Flüssigkeitszirkulationssystem (Filtrationsgenauigkeit 10 μm , Zirkulationsrate > 95 %).

Vorschläge zur Parameteroptimierung :

Druck: 300 MPa, Gleichgewichtsdichte (~ 10 g/cm^3) und Formlebensdauer (Erhöhung um 20 %).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Haltezeit: 60 Sekunden, 30 % Zeitersparnis, Gleichmäßigkeit >95 % beibehalten.

Form : PU-Material (Shore A 80), Druckfestigkeit um 10 % erhöht, Kosten um 15 % reduziert.

Flüssigkeit: Fügen Sie 0,5 % Rostschutzmittel hinzu, um die Lebensdauer der Ausrüstung um 12 Jahre zu verlängern.

Verpackung: Vibrationsfrequenz 80 Hz, Gleichmäßigkeit um 5 % erhöht.

Anwendbarkeit :

Qualität : YN10, YG8 (Korngröße 0,51,5 μm) .

Form : Mittel bis groß, z. B. Stäbe (Ø 1050 mm, Länge 330–500 mm), Platten (50 × 50 × 20 mm), Ringe (Ø 100 mm).

Ausgabe : Mittlere Charge (100.500 Stück/Stunde, 100.300 bei Nassbeutelmethode , 300.500 bei Trockenbeutelmethode) .

Anwendungen : Bergbauwerkzeuge (wie Bohrstangen), Drahtziehwerkzeuge, lange Stangen (für Werkzeugbasen).

Vorteil :

Gleichmäßige Dichte: Gleicher Druck in alle Richtungen, Abweichung <1 % (35 % beim Formen).

Geeignet für große Größen: Rohling Ø 100 mm, Länge 500 mm (Formgrenze Ø 50 mm).

Weniger Mikrorisse: Defektrate um 50 % reduziert, Porosität <0,005 % (0,01 % beim Formen).

Flexible Form: Die Nassbeutelmethode eignet sich für Teile mit Sonderformen und die Formkosten sind 20 % niedriger (Formen).

Manko :

Geringe Effizienz: 15 Minuten für eine einzelne Charge und die Leistung ist 50 % niedriger als beim Formen (Formen > 1000 Teile/Stunde).

Höhere Kosten: Die Kosten für Ausrüstung und Wartung sind mittel bis hoch (die Formkosten sind niedrig).

Die Genauigkeit ist etwas geringer: $\pm 0,20,5$ mm (Formen $\pm 0,1$ mm) und eine Nachbearbeitung ist erforderlich.

Anwendungsbeispiele :

Bergbau -Bohrerstange :

Ausrüstung: Quintus QIC 2,4x4,8.

Parameter: 350 MPa, Haltedruck 90 Sekunden, Kammer Ø 600 mm.

Ergebnisse: Rohling Ø 20 × 330 mm, Dichte 10,2 g/cm^3 , Homogenität >95 % , KIC 9 $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$, Sinterfestigkeit 2,0 GPa (ScienceDirect, 2021).

Szenario: Hartgesteinsbohren, Leistung 200 Stück/Stunde.

YG8 Drahtziehwerkzeugrohling :

Ausrüstung: Avure V3 CIP.

Parameter: 300 MPa, Haltedruck für 60 Sekunden, Dry-Bag -Methode.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ergebnis: Rohling $\varnothing 50 \times 20$ mm, Dichte 10 g/cm^3 , Porosität $<0,005 \%$, Härte nach dem Sintern 1500 HV.

Szenario: Metallziehen, Leistung 400 Stück/Stunde.

Vergleich zwischen kaltisostatischem Pressen (CIP) und Formen :

Gleichmäßigkeit der Dichte : CIP-Abweichung $<1 \%$, Formgebung 35% (unidirektionales Pressen).

Anwendbarkeit der Form : CIP eignet sich für mittelgroße und große/speziell geformte Teile, und das Formen ist auf einfache Formen (wie etwa Teststäbe) beschränkt .

Effizienz : CIP 100–500 Stück/Stunde, Formen 1.000–10.000 Stück/Stunde.

Kosten : Mittel bei CIP, niedrig beim Formen.

Genauigkeit : CIP $\pm 0,20,5$ mm, Formen $\pm 0,1$ mm.

Standard :

GB/T 183762014: Rohlingsporosität $<0,01 \%$.

GB/T 38502015: Dichteüberprüfung.

2.2 Heißisostatisches Pressen (HIP)

Prinzipien des Heißisostatischen Pressens (HIP) :

Direktes HIP

Das Pulver wird direkt in eine Metalldose (Stahl/Titan) gefüllt, unter hoher Temperatur und hohem Druck gepresst und gesintert, wobei sowohl die Formgebung als auch die Verdichtung berücksichtigt werden , geeignet für Hochleistungsteile.

Nachbearbeitung von HIP

Der vorgesinterte Block (Vakuumsintern, $1200\text{--}1300 \text{ }^\circ\text{C}$, Dichte $80\text{--}90 \%$) wird dann mittels HIP-Verfahren gewalzt, um Porosität zu beseitigen und die Leistung zu verbessern.

Ausrüstung :

Spezifisches Modell :

Quintus HIP QIH 122 : Kammer $\varnothing 400 \text{ mm} \times 1200 \text{ mm}$, Druck $100\text{--}200 \text{ MPa}$, Temperatur $1350\text{--}1450 \text{ }^\circ\text{C}$.

Bodycote HIP HT 200 : Kammer $\varnothing 300 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$, Druck $120\text{--}180 \text{ MPa}$, Temperatur $1300\text{--}1400 \text{ }^\circ\text{C}$.

ALD HIP V 4 : Kammer $\varnothing 500 \text{ mm} \times 1500 \text{ mm}$, Druck $100\text{--}200 \text{ MPa}$, geeignet für große Formen.

Spezifikation :

Druck: $100\text{--}200 \text{ MPa}$ (typischerweise 150 MPa).

Temperatur: $1350\text{--}1450 \text{ }^\circ\text{C}$.

Kammerabmessungen: $\varnothing 50500 \text{ mm}$, Höhe 5001500 mm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Leistung: Hoch (100–300 kW).

Steuerung: Industrie-PC, Temperaturabweichung $\leq \pm 5^\circ\text{C}$, Druckabweichung $\leq \pm 1\text{ MPa}$.

Zykluszeit: 46 Stunden/Charge.

Merkmale :

Prozessparameter :

Temperatur: 1350–1450 °C (Ni-basiert 1350–1400 °C, Co-basiert 1400–1450 °C).

Druck: 100200 MPa (optimiert: 150 MPa, Dichte >99,9%).

Atmosphäre: Argon (>99,99 %, O₂ <0,001 %).

Isolationszeit: 24 Stunden (Optimierung: 3 Stunden, Leistungssteigerung 5%).

Dichte: >99,9% theoretische Dichte (~14,515 g/cm³).

Heißisostatisches Pressverfahren (HIP) (detailliert)

Mischen oder Rohlingsvorbereitung :

Direktes HIP : Mischen (WC + Ni / Co, D50 30100 μm , ultrafeines Korn <0,5 μm) , Hochenergie-Kugelmahlen (2436 Stunden, Kugel-Material-Verhältnis 15:1, Geschwindigkeit 300400 U/min), Zugabe von VC (0,2 Gew. %) zur Kontrolle der Korngröße.

Nachbehandlung HIP : vorgesinterter Block (Vakuumsintern, 1200–1300 °C, 12 Stunden, Dichte 80–90 %).

Prüfung: Partikelgröße des Mischmaterials D50 <100 μm , O₂ <0,03 % (GB/T 345052017), Rohporosität <0,05 %.

Paket :

Behälter: Edelstahl (316L, Wandstärke 23 mm) oder Titantank (Gr5, Temperaturbeständigkeit >1500°C).

Füllung: Vibrationsfüllung (Frequenz 5080 Hz), Füllichte 34 g/cm³.

Abdichtung: Vakuumschweißen (<10⁻³ Pa , Elektronenstrahlschweißen, Schweißnahtbreite 12 mm), Leckrate <0,001 %.

Inspektion: Röntgeninspektion der Tankintegrität (keine Risse/Poren), Vakuumtest (<10⁻³ Pa).

Hohe Temperaturen und hoher Druck Behandlung :

Ausrüstung: Quintus HIP QIH 122 oder ALD HIP V4.

Parameter: 1400 °C (Heizrate 510 °C/min), 150 MPa (Druckanstiegsrate 25 MPa/min), 3 Stunden halten, Argonatmosphäre (Reinheit > 99,995 %).

Ablauf: Der Tank wird in eine Graphitheizung (C >99,9%) gestellt und der Druck-/Temperaturverlauf in Echtzeit überwacht (Abweichung $\leq \pm 5^\circ\text{C}$, $\pm 1\text{ MPa}$).

Abkühlung: Abkühlung im Ofen (510°C/min, Ar -Flussrate 12 L/min) bis <100°C.

Entkantung und Nachbearbeitung :

Dosenentlackung: mechanisches Entlacken (Schneidemaschine, Genauigkeit $\pm 0,5\text{ mm}$) oder Beizen (HNO₃ 10 %, 30 Minuten), Oberfläche Ra <0,8 μm .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Reinigung: Ultraschallreinigung (40 kHz, 15 Min.) zum Entfernen von Argon- /Metallspänen.
Bearbeitung: Schleifen (Ra <0,4 μ m , Größe ±0,1 mm), Polieren (Ra <0,2 μ m , Anforderungen an Luftfahrtwerkzeuge).
Prüfung: Dichte (>99,9 % , ~14,8 g/cm³) , Porosität <0,001 % (GB/T 51692013).

Qualitätskontrolle :

Eigenschaften: Härte (1800–2200 HV, GB/T 7997–2017), Festigkeit (2,2–2,5 GPa , GB/T 3851–2015).

Mikrostruktur: Korngröße <0,5 μ m (GB/T 183762014), η-Phase <0,5 %.

Aufzeichnungen: Chargenrückverfolgbarkeit (Barcode), Speicherung von Temperatur-/Druckkurven.

Umgebung : hohe Temperatur und hoher Druck, Argonatmosphäre , Ofenkühlung (510 °C/min).

Vorschläge zur Parameteroptimierung :

Druck: 150 MPa, ausgeglichene Dichte (>99,9 %) und Energieverbrauch (minus 10 %).

Temperatur: 1400 °C (auf Co-Basis), reduziert das Kornwachstum (<5 %).

Isolationszeit: 3 Stunden, Effizienzsteigerung um 25 % , Porosität <0,001 %.

Tankmaterial: Edelstahl (316L), 20 % niedrigere Kosten, gleiche Druckbeständigkeit.

Atmosphäre: Ar- Reinheit > 99,995 % , O₂ < 0,0005 % , reduziert die Oxidation um 50 %.

Anwendbarkeit :

Sorte : YN8N, YG6X (ultrafeine Körnung < 0,5 μ m) .

Form : komplex, wie z. B. Luftfahrtwerkzeuge (mehrfach gekrümmte Oberflächen), Gussformen (speziell geformte Hohlräume), Rohlinge für Turbinenschaufeln.

Produktion : kleine Chargen (<50 Stück/Charge), Produkte mit hoher Wertschöpfung.

Anwendungen : Werkzeuge für die Luft- und Raumfahrt, hochwertige Formen, medizinische Implantate.

Vorteil :

Hohe Dichte: >99,9 % , Porosität <0,001 % (Modulzahl Sintern 0,0050,01 %).

Komplexe Formen: keine Form erforderlich, Genauigkeit ±0,1 mm (zum Formen ist eine komplexe Form erforderlich).

Hervorragende Leistung: Kornkontrolle <0,5 μ m , Härte um 510 % erhöht (1800–2200 HV), Festigkeit um 1015 % erhöht (2,2–2,5 GPa) .

Weniger Defekte: Mikrorissrate um 50 % verringert, KIC um 10 % erhöht (912 MPa·m^{1/2}) .

Manko :

Hohe Kosten: Hohe Geräte- und Energiekosten (niedrige Formkosten).

Geringe Effizienz: 46 Stunden für eine einzelne Charge, Leistung <50 Stück/Stunde (Formen >1000 Stück/Stunde).

Komplexe Verpackung: Metall Dosen sind teuer und die Prozesszeit erhöht sich um 12 Stunden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendungsbeispiele :

YN8N Aviation Werkzeugrohling :

Ausrüstung: Quintus HIP QIH 122.

Parameter: 1400 °C, 150 MPa, 3 Stunden, Argonatmosphäre .

Ergebnisse: Rohling 50×50× 20 mm, Dichte 14,8 g/cm³ , Porosität <0,001 % , Härte 1800 HV, Festigkeit 2,2 GPa (Sandvik, 2023).

Szenario: Verarbeitung von Hochtemperaturlegierungen, Ausgabe 30 Stück/Charge.

YG6X Präzisionsform :

Ausrüstung: ALD HIP V4.

Parameter: 1350 °C, 120 MPa, 2,5 Stunden Wärmespeicherung, HIP-Nachbehandlung.

Ergebnisse: Matrize Ø 100 × 50 mm, Dichte 14,9 g/cm³ , Korngröße < 0,5 µm , KIC 10 MPa·m^{1/2} .

Szenario: Stanzform für Automobile, Ausgabe 20 Stück/Charge.

Im Vergleich zum Formen :

Dichtegleichmäßigkeit : HIP >99,9 % , Abweichung <0,1 % , Formgebung 5060 % , Abweichung 35 % .

Anwendbarkeit der Form : HIP eignet sich für komplexe und speziell geformte Teile, während das Formen auf einfache Formen (Teststäbe, Klingen) beschränkt ist.

Effizienz : HIP <50 Stück/Charge, Formen von 1.000–10.000 Stück/Stunde.

Kosten : Hoch für HIP, niedrig für Formen.

Leistung : HIP-Härte 1800–2200 HV, gesintert nach dem Formen 1400–1800 HV.

Standard :

GB/T 79972017: Härteprüfung.

GB/T 51692013: Porosität <0,001 %.

3. Vergleich zwischen isostatischem Pressen und Formen

Tabelle 1: Vergleich zwischen isostatischem Pressen und Formpressen

Merkmal	Kaltisostatisches Pressen (CIP)	Heißisostatisches Pressen (HIP)	Matrizenpressen
Druck (MPa)	200400	100200	100300
Temperatur (°C)	Raumtemperatur	1350/1450	Raumtemperatur
Dichte (% theoretisch)	6070	>99,9	5060
Gleichmäßigkeit	Abweichung <1%	Abweichung <0,1 %	Abweichung 35 % (einfache Fahrt)
Anwendbare Form	Mittel und groß (Stäbe, Platten)	Komplex (Werkzeuge, Formen)	Einfach (Prüfstab, Klinge)
Genauigkeit (mm)	±0,20,5	±0,1	±0,1

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Merkmale	Kaltisostatisches Pressen (CIP)	Heißisostatisches Pressen (HIP)	Matrizenpressen
Ertrag	100500 Stück/Stunde	<50 Stück/Charge	100010000 Stück/Stunde
Kosten	Mitte	hoch	Niedrig
Vorteil	Gleichmäßige Dichte, große Größe, wenige Mikrorisse	Hohe Dichte, komplexe Form, hervorragende Leistung	Hohe Effizienz, niedrige Kosten, hohe Präzision
Mangel	Geringe Effizienz, mittlere Kosten, etwas geringere Genauigkeit	Hohe Kosten, geringe Effizienz, komplexe Verpackung	Dichtegradienten, komplexe Formbeschränkungen, Matrizenverschleiß
Typische Ausstattung	Quintus QIC 2,4x4,8, Avure V3 CIP	Quintus HIP QIH 122, ALD HIP V4	Dorst TPA, Aida NC

4. Vergleich der isostatischen Pressarten

Tabelle 2: Vergleich der isostatischen Pressarten aus Hartmetall

Typ	Druck MPa	Temperatur °C	Dichte %	Anwendbare Form	Ertrag Stück/Charge	Kosten	Vorteil	Mangel
Kaltisostatisches Pressen (CIP)	200400	Raumtemperatur	6070	Mittel und groß (Stäbe, Platten)	100500 (Stück/Stunde)	Mitte	Gleichmäßige Dichte, große Größe, wenige Mikrorisse	Geringe Effizienz, mittlere Kosten, etwas geringere Genauigkeit
Heißisostatisches Pressen (HIP)	100200	13501450	>99,9	Komplex (Werkzeuge, Formen)	<50 (Stück/Charge)	hoch	Hohe Dichte, komplexe Form, hervorragende Leistung	Hohe Kosten, geringe Effizienz, komplexe Verpackung

5. Anwendbarkeit und Auswahlleitfaden

Kaltisostatisches Pressen (CIP) :

Anwendbar auf : mittlere und große Knüppel, wie z. B. YN10-Stangen (Ø 20 × 330 mm), YG8-Platten.

Gründe für die Auswahl : gleichmäßige Dichte (Abweichung <1%), geeignet für lange Größen (>500 mm), wenige Mikrorisse.

Empfohlene Ausrüstung : Quintus QIC 2,4 x 4,8 (große Größe), Avure V3 CIP (mittlere Größe).

Beispiel : YN10-Stab, 300 MPa, Dichte ~10 g/cm³, KIC 9 MPa·m^{1/2}.

Anwendungen : Bergbauwerkzeuge, Drahtziehwerkzeuge, lange Stangen.

Heißisostatisches Pressen (HIP) :

Anwendbar : Hochleistungs-Komplettteile, wie etwa YN8N-Luftfahrtwerkzeuge und -formen.

Grund für die Auswahl : Dichte > 99,9 %, Porosität < 0,001 %, Härte 1800–2200 HV.

Empfohlene Ausrüstung : Quintus HIP QIH 122 (hohe Leistung), ALD HIP V4 (große Größe).

Beispiel : YN8N-Werkzeugrohling, 1400 °C, 150 MPa, Härte 1800 HV.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendung : Werkzeuge für die Luft- und Raumfahrt, hochwertige Formen.

Tabelle 3: Eignung für isostatisches Pressen

Typ	Anwendbare Klassen	Anwendbare Form	Ertrag	Typische Anwendungen	Empfohlene Ausrüstung
Kaltisostatisches Pressen (CIP)	YN10, YG8	Stäbe, Platten, Ringe	Mittlere Charge (100–500 Stück/Stunde)	Bergbauwerkzeuge, Drahtziehsteine, Langstangen	Quintus QIC 2,4x4,8, Avure V3 CIP
Heißisostatisches Pressen (HIP)	YN8N, YG6X	Komplexe Werkzeuge und Formen	Kleine Chargen (<50 Stück/Charge)	Luftfahrtwerkzeuge, High-End-Formen	Quintus HIP QIH 122, ALD HIP V4

6. Fazit

Das isostatische Pressen von Hartmetall wird unterteilt in:

Kaltisostatisches Pressen (CIP) : Gleichmäßige Dichte (Abweichung <1 %), geeignet für mittlere und große Knüppel (YN10-Stangen), aber geringe Effizienz (100–500 Stück/Stunde), Genauigkeit $\pm 0,2,5$ mm.

Heißisostatisches Pressen (HIP) : Dichte > 99,9 %, geeignet für komplexe Hochleistungsteile (YN8N-Werkzeug), aber hohe Kosten und geringe Leistung (< 50 Stück/Charge).

Ausrüstung :

CIP : Quintus QIC 2,4 x 4,8 (große Größe, 350 MPa), Avure V3 CIP (mittlere Größe, 300 MPa), mittlere Kosten.

HIP : Quintus HIP QIH 122 (hohe Leistung, 150 MPa), ALD HIP V4 (große Größe, 120 MPa), hohe Kosten.

Im Vergleich zum Formen :

Das isostatische Pressen (CIP/HIP) ist dem Formen hinsichtlich der Dichtegleichmäßigkeit (<1 % gegenüber 35 %) und der Anwendbarkeit auf komplexe Formen überlegen, weist jedoch eine geringe Effizienz (100–500 Teile/Stunde gegenüber 1.000–10.000 Teile/Stunde) und hohe Kosten auf.

Das Formpressen eignet sich für einfache Formen in großen Stückzahlen (YN6-Teststäbe), das isostatische Pressen eignet sich für mittelgroße bis große oder Hochleistungsteile (YN10-Stäbe, YN8N-Werkzeuge).

Standard :

GB/T 345052017 : Abweichung der Rohlingsdichte $\leq \pm 5$ %, Genauigkeit $\pm 0,2$ mm.

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

GB/T 38502015 : Dichteüberprüfung.

GB/T 5169-2013 : Porosität (A02B00C00).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 38512015 : Biegefestigkeit (1,82,5 GPa) .

GB/T 7997-2017 : Härte (1400–2200 HV).

Zukünftige Trends

Automatisiertes CIP (Effizienzsteigerung um 20 %), grünes HIP (Energieverbrauch um 15 % gesenkt) und intelligente Druckregelung (Abweichung $<\pm 0,5$ MPa) verbessern den isostatischen Pressprozess.

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:

Schrumpfungsverhältnis beim Hartmetallpressen

Während des Press- und Sinterprozesses von Hartmetall kommt es aufgrund der Umlagerung der Pulverpartikel, der Verflüchtigung des Bindemittels und des Kornwachstums zu einer erheblichen Volumenschrumpfung, der sogenannten **Schrumpfrate**. Die Schrumpfrate ist ein wichtiger Parameter bei der Hartmetallherstellung und beeinflusst direkt die Rohlingsform, die **Maßgenauigkeit** ($\pm 0,20,5$ mm, gemäß GB/T 345052017) und die Leistung des Endprodukts (z. B. Dichte $> 99,5$ %, Porosität $< 0,01$ %, Biegefestigkeit $1,82,5$ GPa). Das Pressverfahren des Hartmetalls (z. B. isostatisches Pressen, Formen) und der anschließende Sinterprozess beeinflussen die Schrumpfrate.

Basierend auf dem isostatischen Pressen von Hartmetall (kaltisostatisches Pressen CIP, heißisostatisches Pressen HIP) und Formen, kombiniert mit nationalen Standards (wie GB/T 183762014, GB/T 38502015) und Branchenpraktiken (wie Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021), analysiert dieser Artikel detailliert die Definition, Einflussfaktoren, typischen Werte, Berechnungsmethoden und praktischen Anwendungsfälle des Schrumpfungsverhältnisses beim Pressen von Hartmetall, fügt einen Vergleich mit dem Formen hinzu und verfeinert den Einfluss des isostatischen Pressprozesses auf das Schrumpfungsverhältnis.

1. Definition des Pressschrumpfungsverhältnisses von Hartmetall

Das Schrumpfungsverhältnis bezieht sich auf das Maßänderungsverhältnis von Hartmetall vom gepressten Knüppel (Grünling) zum gesinterten Endprodukt und wird üblicherweise als lineares Schrumpfungsverhältnis (Lineares Schrumpfungsverhältnis) ausgedrückt. Die Formel lautet:

$$S = \frac{L_g - L_s}{L_g} \times 100\%$$

SSS: lineares Schrumpfungsverhältnis (%).

L_g : Größe des grünen Knüppels (mm, nach dem Pressen).

L_s : Größe nach dem Sintern (mm).

Das Schrumpfungsverhältnis beträgt:

$$S_v = \frac{V_g - V_s}{V_g} \times 100\%$$

S_v : Volumenschrumpfungsverhältnis (%).

V_g : Volumen des grünen Blindwerts (mm^3).

V_s : Volumen nach dem Sintern (mm^3).

Die ungefähre Beziehung zwischen linearem Schrumpfungsverhältnis und Volumenschrumpfungsverhältnis (isotrope Schrumpfung):

$$S_v \approx 3S - 3S^2 + S^3$$

In der Praxis beträgt die lineare Schrumpfrate von Hartmetall üblicherweise **1522 %** und die Volumenschrumpfrate **3550 %**. Die spezifischen Werte werden durch das Pressverfahren (CIP, HIP, Formen), die Mischungszusammensetzung (WC + Ni / Co, Korngröße $0,12 \mu\text{m}$), den

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bindemittelgehalt (PEG 0,10,2 Gew.- %) und die Sinterbedingungen (1350–1450 °C, Ar-Atmosphäre) beeinflusst.

2. Faktoren, die das Schrumpfungsverhältnis von Hartmetall beeinflussen

Die Schwindungszahl wird durch folgende Faktoren beeinflusst, die bei der Werkzeugherstellung (Genauigkeit $\pm 0,1$ mm) und Prozessoptimierung umfassend berücksichtigt werden müssen:

Zusammensetzung der Mischung :

Bindepheasengehalt (Ni/Co) : Ein hoher Co-Gehalt (1015 Gew.- %) erhöht die Schrumpfrate (1822 %), da Co einen niedrigen Schmelzpunkt (1495 °C) hat und das Sintern in der Flüssigphase die Verdichtung fördert; ein hoher Ni-Gehalt (610 Gew.- %) hat eine etwas niedrigere Schrumpfrate (1518 %).

Korngröße : Ultrafeine Körner ($< 0,5 \mu\text{m}$) haben aufgrund ihrer hohen Oberflächenenergie und starken Triebkraft zur Verdichtung eine hohe Schrumpfrate (2022 %) ; mittelgrobe Körner ($12 \mu\text{m}$) haben eine niedrige Schrumpfrate (1518 %).

Additive : Cr₃C₂/VC (0,10,5 Gew.- %) hemmen das Kornwachstum und reduzieren leicht die Schrumpfrate (0,51 %).

Pressvorgang :

Kaltisostatisches Pressen (CIP) : Die Dichte des Blocks beträgt 6070 % ($\sim 9,511 \text{ g/cm}^3$), der isotrope Druck (200400 MPa) sorgt für eine gleichmäßige Schrumpfung und das lineare Schrumpfverhältnis beträgt 1620 %.

Heißisostatisches Pressen (HIP) : Direkte HIP-Dichte $> 99,9 \%$ ($\sim 14,515 \text{ g/cm}^3$), hohe Schrumpfrate (1822 %); nachträglich verarbeitetes HIP (vorgesinterter Block, 8090 % Dichte) hat eine niedrige Schrumpfrate (510 %).

Formen : Die Dichte des Rohlings beträgt 50–60 %, der einachsige Druck (100–300 MPa) führt zu einem Dichtegradienten (35 %), das Schrumpfungsverhältnis beträgt 15–18 % und die Anisotropie ist etwas größer (0,51 %).

Bindemittelgehalt :

Die Verflüchtigung (300–500 °C) von PEG (0,10,2 Gew.- %) oder Paraffin (0,51 Gew.- %) erhöhte die Porosität und das Schrumpfverhältnis um 12 %.

Der optimierte Klebstoff (PEG 0,15 Gew.- %) kann die Abweichung des Schrumpfverhältnisses auf $< \pm 0,5 \%$ kontrollieren.

Sinterbedingungen :

Temperatur : 1350–1450 °C (auf Co-Basis 1400–1450 °C, auf Ni-Basis 1350–1400 °C), hohe Temperaturen erhöhen das Verhältnis der flüssigen Phase und das Schrumpfungsverhältnis erhöht sich um 12 %.

Isolierzeit : 24 Stunden. Eine Verlängerung der Isolierzeit (3 Stunden) führt zu einer vollständigeren Verdichtung und einer Erhöhung der Schrumpfrate um 0,51 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Atmosphäre : Ar (>99,99 %, O₂ <0,001 %) reduziert die Oxidation und stabilisiert das Schrumpfungsverhältnis; eine H₂-Atmosphäre kann das Schrumpfungsverhältnis reduzieren (0,5 %).

Größe und Form des Knüppels :

Bei großen Knüppeln (Ø 50–100 mm) ist die Wärmeleitfähigkeit aufgrund der ungleichmäßigen Wärmeleitung etwas geringer (15–17 %).

Aufgrund der Spannungsverteilung erhöht sich die Abweichung des Schrumpfungsverhältnisses bei komplexen Formen (wie Werkzeugen und Gussformen) um ±0,51 %.

3. Typischer Wert des Hartmetall-Pressschrumpfungsverhältnisses

Tabelle 1: Typische Werte der Schrumpfungsverhältnisse für verschiedene Pressverfahren

Pressvorgang	Marke	Korngröße (µm)	Co/Ni-Gehalt (Gew.-%)	Knüppeldichte (% theoretisch)	Lineares Schrumpfungsverhältnis (%)	Volumenschrumpfungsverhältnis (%)	Dichte nach dem Sintern (g/cm ³)
Kaltisostatisches Pressen (CIP)	YN10	0,51,5	10 (Ni)	6070	1620	4045	14.514.8
Kaltisostatisches Pressen (CIP)	YG8	12	8 (Co)	6070	1518	3540	14.614.9
Heißisostatische Pressen (Direkt-HIP)	YN8	<0,5	8 (Ni)	>99,9	1822	4550	14.815.0
Heißisostatische Pressen (Nachbearbeitung HIP)	YG6X	<0,5	6 (Co)	8090 (vorgesintert)	510	1525	14.915.0
Formen	YN6	12	6 (Ni)	5060	1518	3540	14.514.8

veranschaulichen :

CIP : Gleichmäßiger Druck (300 MPa) stabilisiert das Schrumpfverhältnis, geeignet für mittlere und große Knüppel (Ø 20 × 330 mm).

HIP : Direktes HIP weist aufgrund des einstufigen Formens und Sinterns eine hohe Schrumpfrate auf; nachträglich verarbeitetes HIP weist eine niedrige Schrumpfrate auf und beseitigt nur Poren.

Formen : Uniaxialer Druck führt zu einem anisotropen Schrumpfungsverhältnis (radiale/axiale Abweichung 0,51 %).

4. Berechnung des Schrumpfungsverhältnisses und der Form

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Berechnungsmethode :

Abmessungen von Rohlingen und Sinterkörpern :

Grüner Knüppel: Stangen mit $\varnothing 20 \times 330$ mm werden mit einem hochpräzisen Messschieber ($\pm 0,01$ mm) gemessen.

Nach dem Sintern: Maße $\varnothing 16,8 \times 280$ mm (nach Schrumpfung).

Berechnung: $S = 20 - 16,820 \times 100\% = 16\%$ $S = \frac{20 - 16,8}{20} \times 100\% = 16\%$ $S = 20 - 16,8 \times 100\% = 16\%$ (radial), $S = 330 - 280330 \times 100\% = 15,15\%$ $S = \frac{330 - 280}{330} \times 100\% = 15,15\%$ $S = 330 - 280 \times 100\% = 15,15\%$ (axial).

Formvergrößerungsfaktor :

Formgröße = Zielgröße \div (1 S).

示例: 目标 $\varnothing 16$ mm 棒材, $S = 16\%$, 模具 $\varnothing = 16 \div (1 - 0,16) = 19,51$ mm.

Abweichungskontrolle :

CIP: Schwundverhältnisabweichung $< \pm 0,5\%$, Formgenauigkeit $\pm 0,1$ mm.

HIP: Direkte HIP-Abweichung $\pm 0,51\%$ (komplexe Form), HIP-Abweichung nach der Bearbeitung $< \pm 0,3\%$.

Formen: Abweichung $\pm 0,51\%$ (Einfluss von unidirektionalem Druck).

Nationale Standardanforderungen :

GB/T 345052017 : Die Maßgenauigkeit nach dem Sintern beträgt $\pm 0,2$ mm und die Abweichung des Schrumpungsverhältnisses beträgt $< \pm 5\%$.

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

5. Einfluss des isostatischen Pressens und Formens auf das Schrumpungsverhältnis

Kaltisostatisches Pressen (CIP) :

Auswirkungen auf den Prozess :

Mischen : Hochenergie-Kugelmahlen (1624 Stunden, $D50 < 150 \mu\text{m}$) gewährleistet gleichmäßige Partikel und eine Abweichung des Schrumpungsverhältnisses von $< \pm 0,5\%$.

Füllen : Durch Vibrationsfüllen (80 Hz) wird die Füllichte (23 g/cm^3) erhöht und das Schrumpfverhältnis (1620%) stabilisiert.

Pressen : 300 MPa, 60 Sekunden, gleichmäßiger Druck (Abweichung $< \pm 2$ MPa), um eine gleichmäßige Schrumpfung in alle Richtungen zu gewährleisten.

Sintern : 1400 °C, 3 Stunden, Argonatmosphäre, Schrumpfrate 1620%.

Vorteile : Isotrope Schrumpfung, Abweichung $< 1\%$, geeignet für große Größen ($\varnothing 100$ mm) / Sonderformen.

Nachteile : Durch die Verflüchtigung des Bindemittels (PEG 0,10,2 Gew.-%) erhöht sich die Schrumpfrate leicht (12%).

Heißisostatisches Pressen (HIP) :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Auswirkungen auf den Prozess :

Direktes HIP :

Mischmaterial: ultrafeines Korn ($D_{50} < 100 \mu m$), hohe Schrumpfrate (1822%).

Verpackung: Edelstahldose (316L, $< 10^{-3} Pa$), Packungsdichte $34 g/cm^3$.

Behandlung: $1400 ^\circ C$, 150 MPa, 3 Stunden, Dichte $> 99,9 \%$, Schrumpfrate 1822 %.

Nachbearbeitung von HIP :

Vorsintern: $1200-1300 ^\circ C$, Dichte 80–90 %, Schrumpfungsverhältnis 10–15 % (Vorsinterphase).

HIP: $1350 ^\circ C$, 120 MPa, 2,5 Stunden, Schrumpfrate 510 % (nur Porositätsbeseitigung).

Vorteile : hohe Dichte ($> 99,9 \%$), kontrollierbares Schrumpfungsverhältnis, geeignet für komplexe Formen (Werkzeuge für die Luft- und Raumfahrt).

Nachteile : komplexe Verpackung, Abweichung der Schrumpfrate $\pm 0,51 \%$ (komplexe Form).

Geformt :

Auswirkungen auf den Prozess :

Mischen: Ähnlich wie CIP, $D_{50} 50150 \mu m$.

Pressen: 100300 MPa, einachsiger Druck, Knüppeldichte 5060 %, Dichtegradient 35 %.

Sintern: $1350-1450 ^\circ C$, 23 Stunden, Schrumpfrate 1518 %, radiale/axiale Abweichung 0,51 %.

Vorteile : Hohe Effizienz (1000–10000 Stück/Stunde), Abweichung der Schrumpfrate kann durch Formoptimierung kontrolliert werden ($\pm 0,5 \%$).

Nachteile : Anisotrope Schrumpfung (Abweichung 0,51 %), nicht für komplexe Formen geeignet.

Tabelle 2: Vergleich des Schrumpfungsverhältnisses zwischen isostatischem Pressen und Formen

Technologie	Lineares Schrumpfungsverhältnis (%)	Volumenschrumpfungsverhältnis (%)	Gleichmäßigkeit der Schrumpfung	Anwendbare Form	Abweichung der Schrumpfrate (%)
Kaltisostatisches Pressen (CIP)	1620	4045	Abweichung $< 1\%$	Mittel und groß (Stäbe, Platten)	$\pm 0,5$
Heißisostatische Pressen (Direkt-HIP)	1822	4550	Abweichung $< 0,1 \%$	Komplex (Werkzeuge, Formen)	$\pm 0,51$
Heißisostatische Pressen (Nachbearbeitung HIP)	510	1525	Abweichung $< 0,3 \%$	Komplex (Werkzeuge, Formen)	$\pm 0,3$
Formen	1518	3540	Abweichung 35%	Einfach (Prüfstab, Klinge)	$\pm 0,51$

6. Anwendungsfälle und Schrumpfverhältniskontrolle

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

YN10 Bergbau-Bohrerstange (CIP) :

Verfahren : Quintus QIC 2,4 x 4,8, 350 MPa, 90 Sek., Rohling Ø 24 mm × 400 mm.

Sintern : 1400 °C, 3 h, Argonatmosphäre .

Ergebnisse : Nach dem Sintern, Ø 20 × 330 mm, lineares Schrumpungsverhältnis 16,67 % (radial), 17,5 % (axial), Dichte 14,6 g/cm³ , KIC 9 MPa·m^{1/2} (ScienceDirect, 2021).

Schimmel : Ø 24 mm (Vergrößerung 1,2 -fach) , Abweichung ± 0,2 mm.

Szenario : Hartgesteinsbohren, Leistung 200 Stück/Stunde.

YN8N Luftfahrt-Werkzeugrohling (direktes HIP) :

Prozess : Quintus HIP QIH 122, 1400°C, 150 MPa, 3 h, Knüppel 60×60× 25 mm.

Ergebnisse : Nach dem Sintern beträgt die Größe 50 × 50 × 20 mm, das lineare Schrumpungsverhältnis beträgt 20 %, die Dichte beträgt 14,8 g/cm³ und die Härte beträgt 1800 HV (Sandvik, 2023).

Schimmel : Tankkörper 60×60× 25 mm (1,25-fache Vergrößerung), Abweichung ±0,3 mm.

Szenario : Verarbeitung von Hochtemperaturlegierungen, Ausgabe 30 Stück/Charge.

YG6 Prüfstab (geformt) :

Verfahren : Dorst TPA, 200 MPa, Rohling 20×20× 6 mm.

Sintern : 1350 °C, 2 h, H₂-Atmosphäre.

Ergebnisse : Nach dem Sintern betrug die Größe 17 × 17 × 5 mm, das lineare Schrumpungsverhältnis betrug 15 %, die Dichte betrug 14,5 g/cm³ und die Festigkeit betrug 1,8 GPa .

Schimmel : 20×20× 6 mm (Vergrößerung 1,18-fach), Abweichung ±0,1 mm.

Szenario : Bearbeitung von Klingen, Leistung 5000 Stück/Stunde.

7. Vorschläge zur Optimierung des Schrumpungsverhältnisses

KVP :

Mischung: D50 <100 μ m , PEG 0,15 Gew. % , Schrumpungsverhältnisabweichung <±0,5 %.

Pressung: 300 MPa, 60 s, Vibrationsbelastung (80 Hz), Schrumpfungsrate 1618 %.

Form : PU-Material (Shore A 80), Vergrößerungsfaktor 1,181,20, Genauigkeit ±0,1 mm.

HÜFTE :

Direktes HIP: Ultrafeinkörnigkeit (<0,5 μ m) , 1400°C, 150 MPa, Schrumpungsverhältnis 1820 % , Abweichung <±0,5 %.

HIP nach der Behandlung: Vorsinterdichte > 85 % , 1350 °C, 120 MPa, Schrumpungsverhältnis 58 % , Abweichung < ± 0,3 %.

Tankmaterial: Edelstahl 316L, 20 % geringere Kosten, Dichtheit <10⁻³ Pa .

Geformt :

Mischung: mittelgrober Kristall (12 μ m) , PEG 0,1 Gew. % , Schrumpfungsrate 1517 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Pressung: 250 MPa, bidirektionale Pressung, reduzierte Anisotropie (Abweichung $< \pm 0,5 \%$).

Form : Hartmetallform (HRC >60), Vergrößerungsfaktor 1,151,18, Genauigkeit $\pm 0,05$ mm.

8. Fazit

Die Schrumpfrate von Hartmetall beim Pressen wird durch die Zusammensetzung der Mischung, den Pressvorgang, das Bindemittel, die Sinterbedingungen und die Form des Blocks beeinflusst. Typische Werte sind:

CIP : Lineares Schrumpfungsverhältnis beträgt 1620 %, Volumenschrumpfungsverhältnis 4045 %, geeignet für mittlere und große Knüppel (YN10-Stangen).

HIP : Direktes HIP 1822 %, HIP nach der Bearbeitung 510 %, geeignet für komplexe Hochleistungsteile (YN8N-Werkzeug).

Formgebung : 1518 %, geeignet für einfache Formen mit hohem Volumen (YN6-Teststab), aber leicht anisotrop (Abweichung 0,51 %).

Im Vergleich zum Formen :

Beim isostatischen Pressen (CIP/HIP) kommt es zu einer gleichmäßigen Schrumpfung (Abweichung $< 1 \%$ gegenüber 35 %), was für komplexe/große Teile geeignet ist, jedoch eine geringe Effizienz aufweist (100–500 Teile/Stunde gegenüber 1.000–10.000 Teile/Stunde).

Das Formen ist hocheffizient und kostengünstig, das Schrumpfungsverhältnis ist jedoch anisotrop und auf einfache Formen beschränkt.

Standard :

GB/T 345052017 : Maßgenauigkeit $\pm 0,2$ mm, Abweichung der Schrumpfrate $< \pm 5 \%$.

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

GB/T 38502015 : Dichteüberprüfung.

GB/T 5169-2013 : Porosität (A02B00C00).

GB/T 38512015 : Biegefestigkeit (1,82,5 GPa).

GB/T 7997-2017 : Härte (1400–2200 HV).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

Arten von Hartmetall-Presswerkzeugen

von Hartmetallpulver (wie WC+Ni /Co, Partikelgröße 50150 μm) zu Rohlingen (Dichte 5070 % der theoretischen Dichte, etwa 9,511 g/cm^3) und werden häufig bei der Herstellung von Probestäben, Werkzeugrohlingen und Matrizen verwendet. Die Matrizen typen variieren je nach Pressverfahren (kaltisostatisches Pressen CIP, heißisostatisches Pressen HIP, Gesenkpressen), Rohlingsform (Stab \varnothing 1050 mm, Platte, komplexes Werkzeug), Maßgenauigkeit ($\pm 0,20,5$ mm, in Übereinstimmung mit GB/T 345052017), Leistungsanforderungen (Biegefestigkeit 1,82,5 GPa, Härte 1400–2200 HV) und Produktionseffizienz (CIP 100500 Stück/Stunde, Gesenkpressen 1000–10000 Stück/Stunde).

Im Folgenden werden nationale Standards (wie GB/T 183762014, GB/T 38502015) und Branchenpraktiken (wie Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021) kombiniert, um die Typen, Materialien, Strukturen, Anwendbarkeit, Vor- und Nachteile von Hartmetall-Presswerkzeugen im Detail zu analysieren, die Beziehung zu isostatischen Press- und Formprozessen zu verfeinern, Vergleichstabellen und Anwendungsfälle hinzuzufügen und den Einfluss von Werkzeugen auf das Schrumpungsverhältnis (1522 %) zu verbessern.

1. Übersicht Hartmetall-Pressmatrizen

Pressmatrizen aus Hartmetall müssen folgende Anforderungen erfüllen:

Druckfestigkeit : 100400 MPa (CIP 200400 MPa, HIP 100200 MPa, Formen 100300 MPa).

Verschleißfestigkeit : Beständigkeit gegen Hartmetallpulverschleiß (WC-Härte > 2000 HV), Formlebensdauer > 1000–5000 Mal.

Präzision : Abweichung der Knüppelgröße $\pm 0,20,5$ mm (CIP), $\pm 0,1$ mm (Formen), unter Berücksichtigung des Schrumpungsverhältnisses (1522 %).

Anwendbarkeit : Geeignet für verschiedene Formen (Stäbe, Platten, komplexe Werkzeuge) und Qualitäten (YN6, YN10, YN8N, Korngröße 0,12 μm).

Effizienz : Unterstützt niedrige bis mittlere Chargen (CIP/HIP) oder hohe Chargen (Formen).

Es gibt drei Haupttypen von Formen, die nach dem Pressverfahren klassifiziert werden:

Formen für kaltisostatisches Pressen (CIP) : Flexible Formen (Gummi/PU).

Formen für das Heißisostatische Pressen (HIP) : Metall Dosen (Stahl/Titan).

Kompressionsform : Starre Form (Hartmetall/Stahl).

2. Arten und Eigenschaften von Hartmetall-Presswerkzeugen

2.1 Formtypen für das Kaltisostatische Pressen (CIP) :

Nassbeutelform

Flexible Beutel (z. B. Gummi, PU), die nach dem Einfüllen des gemischten Materials in eine Hochdruckflüssigkeit (Wasser/Öl, 200–400 MPa) getaucht werden. Geeignet für Sonderformteile,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

mittlere und große Rohlinge (Ø 10–100 mm, Länge 500 mm).

Trockenbeutelform

Feste flexible Form (PU/Silikon), die Flüssigkeit wird durch die Formwand gepresst, geeignet für Standardformen (z. B. zylindrische Stangen Ø 1050 mm).

Kaltisostatisches Pressen (CIP) Formmaterialien

Gummi

Naturkautschuk oder Synthetikautschuk (Shore A 7090), Druckfestigkeit >500 MPa, niedrige Kosten, Lebensdauer 1000-2000 Mal.

Polyurethan (PU)

Hochfestes PU (Shore A 8095), ausgezeichnete Verschleißfestigkeit, Lebensdauer 2000–5000 Mal, mittlere Kosten.

Silikon

Wird für die Trockenbeutelmethode verwendet, hohe Flexibilität (Shore A 6080), aber etwas geringere Druckbeständigkeit (<300 MPa), Lebensdauer 1000–3000 Mal.

Kaltisostatisches Pressen (CIP) Formstruktur

Nassbeutelmethode

Ein- oder mehrlagige Beutel (Wandstärke 25 mm), innen mit Gleitmittel (Silikonöl, 0,01 mm) beschichtet, vakuumdicht (<10⁻² Pa).

Trockenbeutelmethode

Die Form wird in der Kavität fixiert, mit PU/Silikon ausgekleidet (Wandstärke 310 mm) und einer äußeren Stahlhülle (316L, Druckfestigkeit >600 MPa).

Merkmale der Form für kaltisostatisches Pressen (CIP) :

Druckfestigkeit : 200–400 MPa (typischerweise 300 MPa).

Schrumpungsverhältnis : 1620 %, Formvergrößerungsfaktor 1,181,20 (unter Berücksichtigung der Größe nach dem Sintern, Genauigkeit ±0,20,5 mm).

Füllung : Vibrationsfüllung (50100 Hz), Dichte 23 g/cm³, Homogenität >90%.

Lebensdauer : 1000–5000 Mal, die Lebensdauer der PU-Form ist um 50 % erhöht (im Vergleich zu Gummi).

Kosten : Mittel (PU kostet 15 % mehr, hat aber eine längere Lebensdauer).

Auswirkungen auf den Prozess :

Befüllung : Automatische Befüllungsmaschine (Vibrationsfrequenz 80 Hz) zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Füllhöhe und einer Abweichung des Schrumpungsverhältnisses <±0,5 %.

Pressen : 300 MPa, Haltedruck für 60 Sekunden, Druckabweichung <±2 MPa, isotrope Schrumpfung (1620%).

Entformung : manuell (nasser Beutel) oder pneumatisch (trockener Beutel, 0,51 MPa), Bruchrate <0,5 %.

Anwendbarkeit der Form für kaltisostatisches Pressen (CIP) :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Qualität : YN10, YG8 (Korngröße 0,51,5 μm) .

Formen : Stäbe ($\text{\O} 1050$ mm, Länge 330–500 mm), Platten ($50 \times 50 \times 20$ mm), Ringe ($\text{\O} 100$ mm).

Ausgabe : Mittlere Charge (100.500 Stück/Stunde, 100.300 bei Nassbeutelmethode , 300.500 bei Trockenbeutelmethode) .

Anwendungen : Bergbauwerkzeuge (Bohrstangen), Drahtziehwerkzeuge, lange Stangen.

Vorteile der kaltisostatischen Pressform (CIP) :

Flexible Formen können sich an komplexe Formen anpassen und sind 20 % günstiger (als Kompressionsformen).

Isotroper Druck (Abweichung $<1\%$), gleichmäßiges Schrumpfverhältnis, Knüppeldichte 6070% ($\sim 9,511 \text{ g/cm}^3$) .

Wenige Mikrorisse, Porosität $<0,005\%$ (0,01 % beim Formen).

Nachteile der kaltisostatischen Pressform (CIP) :

Kürzere Lebensdauer (1.000–5.000 Mal vs. Formen > 10.000 Mal).

Die Genauigkeit ist etwas geringer ($\pm 0,20,5$ mm gegenüber $\pm 0,1$ mm beim Formen) und eine Nachbearbeitung ist erforderlich.

Geringere Effizienz (15 Minuten/Charge vs. <1 Minute zum Formen).

Beispiele :

YN10 -Stange :

Form : PU-Nassbeutel (Wandstärke 3 mm, Shore A 80).

Verfahren: Quintus QIC 2,4x4,8, 350 MPa, 90 Sek., Rohling $\text{\O} 24 \times 400$ mm.

Schrumpungsverhältnis: 16,67 % (radial, $\text{\O} 20$ mm nach dem Sintern), Formvergrößerungsfaktor 1,20.

Ergebnisse: Dichte $10,2 \text{ g/cm}^3$, KIC $9 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$, Leistung 200 Stück/Stunde (ScienceDirect, 2021).

YG8 Drahtziehstein :

Form : Silikon-Trockenbeutel (Wandstärke 5 mm, Shore A 70).

Verfahren: Avure V3 CIP, 300 MPa, 60 s, Rohling $\text{\O} 50 \times 20$ mm.

Schrumpungsverhältnis: 15 %, Formvergrößerungsfaktor 1,18.

Ergebnis: Dichte 10 g/cm^3 , Härte 1500 HV, Leistung 400 Stück/Std.

2.2 Matrizentypen für das Heißisostatische Pressen (HIP)

Heißisostatische Pressform (HIP) , direkte HIP- Form : Metalldose (Stahl/Titan), direkte Pulverbeladung, Pressen + Sintern bei hoher Temperatur und hohem Druck ($1350\text{--}1450$ °C, $100\text{--}200$ MPa), geeignet für komplexe Hochleistungsteile.

Nachbearbeitung der HIP- Form : Metalldose umhüllt vorgesinterte Rohlinge (Dichte $80\text{--}90\%$), beseitigt Porosität, geeignet für Werkzeuge und Formen in der Luftfahrt.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Formmaterial für Heißisostatisches Pressen (HIP) :

Edelstahl (316L)

Wandstärke 23 mm, Temperaturbeständigkeit 1500°C, Druckbeständigkeit >200 MPa, niedrige Kosten, Lebensdauer 50100 Mal (hauptsächlich Einmalgebrauch).

Titan (Gr5) : Wandstärke 12 mm, Temperaturbeständigkeit >1600°C, korrosionsbeständig, hohe Kosten, Lebensdauer 100–200 Mal.

Weichstahl

Die Wandstärke beträgt 35 mm, bei niedrigsten Kosten, Temperaturbeständigkeit <1400 °C und einer Lebensdauer von 2050 Mal.

Struktur der Form für Heißisostatisches Pressen (HIP) :

Zylindrische oder komplex geformte Tanks (Ø 50–500 mm, Höhe 500–1500 mm) mit glatter Innenwand (Ra <0,8 µ m) .

Vakuumschweidichtung (<10⁻³ Pa , Elektronenstrahlschweißen, Schweißnaht 12 mm), Leckrate <0,001 %.

Innenfllung mit Pulver (34 g/cm³) oder vorgesinterten Rohlingen, außen hochtemperaturbeständige Beschichtung (optional).

Merkmale der Form für heißisostatisches Pressen (HIP) :

Temperaturbeständigkeit : 1350–1450 °C (316L 1400 °C, Gr5 1500 °C).

Druckfestigkeit : 100–200 MPa (typischerweise 150 MPa).

Schrumpungsverhältnis : direktes HIP 1822 % (Vergrberungsfaktor 1,201,25), nachträgliches HIP 510 % (Vergrberungsfaktor 1,051,10) .

Lebensdauer : 20.200 Mal (meist einmalige Verwendung).

Kosten : Hoch (Gr5 kostet 50 % mehr, 316L ist mittel).

Auswirkungen des Heißisostatischen Pressens (HIP) auf den Formprozess :

Verpackung : Vibrationsfüllung (5080 Hz), Dichte 34 g/cm³ , Röntgenprüfung der Dosenintegritt.

Behandlung : 1400 °C, 150 MPa, 3 Stunden, Argonatmosphäre (>99,995 %), Schrumpungsverhältnis 1822 % (direktes HIP).

Entkannen : mechanisches Abisolieren (Schneiden, ±0,5 mm) oder Beizen (HNO₃ 10 %, 30 Min.).

Anwendbarkeit der Form für heißisostatisches Pressen (HIP) :

Sorte : YN8N, YG6X (ultrafeine Körnung < 0,5 µ m) .

Form : komplex, wie z. B. Luftfahrtwerkzeuge (mehrfach gekrümmte Oberflächen) und Formen (speziell geformte Hohlräume).

Produktionsvolumen : kleine **Chargen** (<50 Stück/Charge), hoher Mehrwert.

Anwendungsszenarien : Werkzeuge für die Luft- und Raumfahrt, High-End-Formen, medizinische Implantate.

Formen für das heißisostatische Pressen (HIP) :

Unterstützt komplexe Formen ohne herkömmliche Gussformen mit einer Genauigkeit von ±0,1 mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Hohe Dichte (>99,9 %), Porosität <0,001 % (Formgebung 0,01 %).

Hervorragende Leistung: Härte 1800–2200 HV, Festigkeit 2,2–2,5 GPa .

Nachteile der Heißisostatischen Pressform (HIP) :

Hohe Kosten (Tankmaterial + Schweißen, Kosten sind 50–100 % höher).

Geringe Effizienz (46 Stunden/Charge vs. <1 Minute Formen).

Die Verpackung ist komplex und die Abweichung der Schrumpfrate beträgt $\pm 0,51$ % (komplexe Form).

Fallbeispiel für eine Form zum Heißisostatischen Pressen (HIP) :

YN8N- Luftfahrtwerkzeug :

Form : 316L-Dose (Wandstärke 2 mm, $50 \times 50 \times 25$ mm).

Prozess: Quintus HIP QIH 122, 1400 °C, 150 MPa, 3 Stunden.

Schrumpungsverhältnis: 20 %, Formvergrößerungsfaktor 1,25.

Ergebnisse: Nach dem Sintern $50 \times 50 \times 20$ mm, Dichte 14,8 g/cm³, Härte 1800 HV (Sandvik, 2023).

YG6X -Form :

Form : Gr5-Dose (Wandstärke 1,5 mm, $\varnothing 100 \times 50$ mm).

Verfahren: ALD HIP V4, 1350 °C, 120 MPa, 2,5 Stunden.

Schrumpungsverhältnis: 8 % (HIP-Nachbearbeitung), Formvergrößerungsfaktor 1,09.

Ergebnisse: Dichte 14,9 g/cm³, KIC 10 MPa·m^{1/2}.

2.3 Formgebungsform

Kompressionsformtyp :

Einweg- Pressform : Einwegdruck (100–300 MPa), geeignet für einfache Formen (Teststäbe, Klingen).

Doppelbetätigte Matrize : doppelter Auf- und Abdruck, reduzierter Dichtegradient (35 %), geeignet für mittelgroße Teile ($\varnothing 1050$ mm).

Mehrkavitäten- Pressform : Mehrere Rohlinge können gleichzeitig mit hoher Effizienz gepresst werden, geeignet für kleine Klingen ($10 \times 10 \times 5$ mm).

Formmaterial :

Hartmetall (WCCo) : Härte HRC >60, verschleißfest, Lebensdauer >10.000-mal, hohe Kosten.

Schnellarbeitsstahl (HSS) : Härte HRC 5560, Druckfestigkeit >500 MPa, Lebensdauer 5000–10000 Mal, mittlere Kosten.

Formstahl (Cr12MoV) : Härte HRC 5055, niedrige Kosten, Lebensdauer 2000–5000 Mal.

Struktur der Formgebungsform :

Formhohlraum (Genauigkeit $\pm 0,05$ mm), Innenwand poliert ($Ra < 0,4 \mu m$).

Stempel (Hartmetall/HSS, Druckfestigkeit >600 MPa), Führungssäule (Abweichung <0,01 mm).

Entformungsmechanismus (Feder/pneumatisch, Entformungskraft 0,52 MPa).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Merkmale der Kompressionsform :

Druckfestigkeit : 100–300 MPa (typischerweise 250 MPa).

Schrumpfungsverhältnis : 1518 %, Formvergrößerungsfaktor 1,151,18 (Genauigkeit $\pm 0,1$ mm).

Lebensdauer : 2000–10000 Mal (Hartlegierung > 10000 Mal).

Kosten : Niedrig (Cr12MoV) bis Hoch (Hartmetall).

Auswirkungen des Formgebungsprozesses :

Pressen : 250 MPa, Zyklus < 1 Min., Knüppeldichte 50–60 %.

Entformung : Pneumatische Entformung (0,51 MPa), Bruchrate < 0,2 %.

Sintern : 1350–1450 °C, 23 Stunden, Schrumpfrate 1518 %, Anisotropie 0,51 %.

Anwendbarkeit der Formgebungsform :

Qualität : YN6, YG8 (Korngröße 12 μ m).

Form : einfach, z. B. Prüfstab (20 \times 20 \times 6 mm), Klinge (10 \times 10 \times 5 mm).

Ausgabe : Hohes Volumen (1.000–10.000 Stück/Stunde).

Szenario : Bearbeitungseinsätze, Standardprüfstäbe.

Vorteile des Formpressens :

Hohe Effizienz (Zyklus < 1 Minute) und 10-mal höherer Durchsatz (CIP).

Hohe Präzision ($\pm 0,1$ mm) und lange Lebensdauer der Form (>10.000-mal).

Niedrige Kosten (die Kosten für die Cr12MoV-Form sind 50 % niedriger).

Nachteile des Formpressens :

Dichtegradient (35 %), Schrumpfungsverhältnis-Anisotropie (0,51 %).

Nicht für komplexe Formen geeignet (nur \varnothing 50 mm).

Die Matrize verschleißt schnell (WC-Pulverabrieb).

Fall der Kompressionsform :

YN6- Teststab :

Matrize: Hartmetall (HRC >60, 20 \times 20 \times 6 mm).

Verfahren: Dorst TPA, 200 MPa, Rohling 20 \times 20 \times 6 mm.

Schrumpfungsverhältnis: 15 %, Formvergrößerungsfaktor 1,18.

Ergebnisse: Nach dem Sintern beträgt die Größe 17 \times 17 \times 5 mm, die Dichte 14,5 g/cm³ und die Leistung 5000 Stück/Stunde.

YG8 -Klinge :

Form : HSS (HRC 58, 10 \times 10 \times 5 mm).

Verfahren: Aida NC, 250 MPa, Rohling 10 \times 10 \times 5 mm.

Schrumpfungsverhältnis: 16 %, Formvergrößerungsfaktor 1,19.

Ergebnis: Dichte 14,6 g/cm³, Härte 1400 HV, Leistung 8000 Stück/Std.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

3. Vergleich der Schimmelpilzarten

Tabelle 1: Vergleich von Hartmetall-Presswerkzeugen

Formtyp	Material	Druckfestigkeit (MPa)	schrumpfen (Vergleichen %)	Genauigkeit (mm)	Leben (Zweitklassen (g))	Werkstoffkosten	Anwendbare Formen	Ertrag	Vorteil	Mangel
KVP Nassbeutelform	Gummi/PU	200400	1620	±0,20,5	10005000	Mitte	Mittlere und große/Sonderformen (Stäbe, Platten)	100300 Stück/Stunde	Komplexe Form, gleichmäßige Schrumpfung, wenige Mikrorisse	Kurze Lebensdauer, etwas geringere Präzision, geringer Wirkungsgrad
KVP Trockenbeutelform	PU/Silikon +Stahlschale	200400	1620	±0,20,5	10005000	Mitte	Standardformen (Stäbe)	300500 Stück/Stunde	Hohe Effizienz, gleichmäßige Schrumpfung, anpassbar an Standardformen	Beschränkt auf Standardformen, etwas geringere Präzision
HÜFTE Schimmel	Edelstahl/Titan	100200	522	±0,1	20200	hoch	Komplex (Werkzeuge, Formen)	<50 Stück/Charge	Hohe Dichte, komplexe Form, hervorragende Leistung	Hohe Kosten, geringe Effizienz, komplexe Verpackung
Formform	Hartmetall HSSCr12Mo V	100300	1518	±0,1	200010000	Niedrig Hoch	Einfach (Prüfstab, Klinge)	100010000 Stück/Stunde	Hohe Effizienz, hohe Präzision und lange Lebensdauer	Dichtegradient, einfache Formen, Anisotropie

4. Form- und Schrumpfverhältnis

Wichtige Punkte :

Vergrößerungsfaktor : Formgröße = Zielgröße ÷ (1 S) .

CIP: S = 1620 %, Vergrößerung 1,181,20.

Direktes HIP: S = 1822 %, Verstärkung 1,201,25.

Nachbearbeitung HIP: S = 510 %, Vergrößerung 1,051,10.

Abformung: S = 1518 %, Vergrößerung 1.151.18.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Genauigkeit : CIP $\pm 0,20,5$ mm, HIP $\pm 0,1$ mm, Formen $\pm 0,1$ mm.

Gleichmäßigkeit der Schrumpfung :

CIP/HIP: Isotrop, Abweichung < 1 % (CIP), $< 0,1$ % (HIP).

Formgebung: Anisotrop, radiale/axiale Abweichung 0,51 %.

Beispiel :

Zielstab $\varnothing 16$ mm (CIP, S = 18 %):

Matrizen- $\varnothing = 16 \div (1 - 0,18) = 19,51$ mm $16 \div (1 - 0,18) = 19,51$ mm

Genauigkeit: $\pm 0,2$ mm, Abweichung $< \pm 0,5$ %.

Nationaler Standard :

GB/T 345052017 : Maßgenauigkeit $\pm 0,2$ mm, Abweichung der Schrumpfungsrates $< \pm 5$ %.

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

5. Anwendbarkeit und Auswahlleitfaden

CIP-Form :

Anwendbar auf : mittlere und große Knüppel (YN10-Stangen $\varnothing 20 \times 330$ mm), Teile mit Sonderform.

Gründe für die Auswahl : Gleichmäßige Schrumpfung (Abweichung < 1 %), Anpassungsfähigkeit an komplexe Formen und mittlere Kosten.

Empfohlen : PU-Nassbeutel (komplexe Formen), Silikon-Trockenbeutel (Standardstangen).

Szene : Bergbauwerkzeuge, Drahtziehwerkzeuge.

HIP-Form :

Anwendbar : Hochleistungskomplettteile (YN8N-Luftfahrtwerkzeug, $50 \times 50 \times 20$ mm).

Gründe für die Auswahl : Dichte $> 99,9$ %, Porosität $< 0,001$ %, Genauigkeit $\pm 0,1$ mm.

Empfohlen : 316-Liter-Tank (mittlere Kosten), Gr5-Tank (hohe Leistung).

Anwendungsszenarien : Luftfahrtwerkzeuge, High-End-Formen .

Formgebungsform :

Anwendbar auf : einfache Formen mit hohem Volumen (YN6-Teststab, $20 \times 20 \times 6$ mm).

Gründe für die Auswahl : hohe Effizienz (1000–10000 Stück/Stunde), Genauigkeit $\pm 0,1$ mm, niedrige Kosten.

Empfohlen : Hartmetall (lange Lebensdauer), HSS (Kosten-Lebensdauer-Verhältnis).

Szene : Klinge, Prüfstab.

Tabelle 2: Formeignung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Formtyp	Anwendbare Klassen	Anwendbare Form	Ertrag	Typische Anwendungen	Empfohlene Materialien
- Nassbeutelform	YN10, YG8	Stangen, Platten, Sonderformteile	100300 Stück/Stunde	Bergbauwerkzeuge, Drahtziehsteine	PU (Shore A 80)
CIP-Trockensackform	YN10, YG8	Stangen	300500 Stück/Stunde	Lange Stangen	Silikon + Stahlschale
HIP-Form	YN8N, YG6X	Komplexe Werkzeuge und Formen	<50 Stück/Charge	Luftfahrtwerkzeuge, High-End-Formen	316L/Gr5-Tank
Formform	YN6, YG8	Prüfstab, Klinge	100010000 Stück/Stunde	Bearbeitungsklingen und Prüfstäbe	Hartmetall/HSS

6. Fazit

Zu den Arten von Pressmatrizen aus Hartmetall gehören:

CIP-Form

Flexibel (Gummi/PU), Schrumpungsverhältnis 1620 %, geeignet für mittlere und große/speziell geformte Teile (YN10-Stangen), aber kurze Lebensdauer (1000–5000-mal), Genauigkeit $\pm 0,20,5$ mm.

HIP-Form

Metall Dosen (316L/Gr5) mit einer Schrumpfungsrate von 522 % eignen sich für komplexe Hochleistungsteile (YN8N-Werkzeug), sind jedoch mit hohen Kosten und geringer Effizienz verbunden (<50 Stück/Charge).

Formform

Starr (Hartmetall/HSS), Schrumpungsverhältnis 1518 %, geeignet für einfache Formen in großen Stückzahlen (YN6-Teststab), hohe Effizienz (1000–10000 Stück/Stunde), aber anisotrop (Abweichung 0,51 %).

Im Vergleich zum Formen :

CIP/HIP-Formen können sich an komplexe Formen anpassen und gleichmäßig schrumpfen (Abweichung <1 % gegenüber 35 %), sie sind jedoch ineffizient und teuer.

Kompressionsformen sind effizient und genau ($\pm 0,1$ mm), sind jedoch auf einfache Formen beschränkt und weisen große Dichtegradienten auf.

Standard :

GB/T 345052017 : Maßgenauigkeit $\pm 0,2$ mm, Abweichung der Schrumpfungsrate $\leq \pm 5$ %.

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

GB/T 38502015 : Dichteüberprüfung.

GB/T 5169-2013 : Porosität (A02B00C00).

GB/T 38512015 : Biegefestigkeit (1,82,5 GPa) .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 7997-2017 : Härte (1400–2200 HV).



COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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

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

Anhang:

Eigenschaften, Anwendbarkeit sowie Vor- und Nachteile verschiedener Sinterverfahren von Hartmetall

Der Sinterprozess von Hartmetall (z. B. auf Nickel- oder Kobaltbasis) dient dazu, den gepressten Block (WC + Ni / Co, Dichte 50–70 % der theoretischen Dichte) in einen Teststab oder ein Testteil (z. B. ein Werkzeug, eine Form) mit hoher Dichte (> 99,5 %), hoher Festigkeit (Biegefestigkeit 1,8–2,5 GPa) und hoher Härte (1400–2200 HV) umzuwandeln. Beim Sinterprozess wird Flüssigphasensintern oder Festphasensintern verwendet, um zwischen WC-Partikeln und der Bindephase (Ni, Co, 615 Gew.-%) eine gleichmäßige Mikrostruktur (Korngröße 0,12 µm, Porosität <0,01 %) zu bilden. Diese entspricht nationalen Normen (wie GB/T 38512015, GB/T 79972017) und Leistungsanforderungen (wie Korrosionsbeständigkeit <0,005 mm/Jahr, GB/T 43342020). Zu den wichtigsten Sinterverfahren zählen Vakuumsintern, Heißisostatisches Presssintern (HIP), Mikrowellensintern, Funkenplasmasintern (SPS) und Gasdrucksintern (GPS). Im Folgenden werden die Eigenschaften, die Anwendbarkeit sowie die Vor- und Nachteile jedes Sinterverfahrens detailliert beschrieben, mit einer neuen Tabelle zum klaren Vergleich, kombiniert mit nationalen Standards (wie GB/T 345052017, GB/T 183762014) und den neuesten Forschungsergebnissen (wie Sandvik, 2023; ScienceDirect, 2021), alles auf Chinesisch, um sicherzustellen, dass der Inhalt genau, umfassend und faszinierend ist.

1. Übersicht

Ziel des Sinterprozesses von Hartmetall ist die Erzielung einer Blockverdichtung (Dichte > 99,5 %), einer kontrollierten Kornverteilung (0,12 µm), einer homogenen Mikrostruktur (> 95 %) und einer hervorragenden Leistung (Härte 1400–2200 HV, Festigkeit 1,8–2,5 GPa). Beim Sintern müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

Materialeigenschaften : WC - Partikelgröße (0,12 µm), Bindephasenanteil (615 Gew.-%), Additive (wie Cr₃C₂, VC).

Rohlingsform : einfach (Prüfstab 5×5×35 mm) oder komplex (Messer, Matrize).

Sinterumgebung : Vakuum, H₂, Ar, N₂ oder Hochdruckatmosphäre (1150 MPa).

Effizienz und Kosten : Sinterzeit (124 Stunden), Ausrüstung (501 Millionen Yuan), Energieverbrauch (0,55 kWh/kg).

In diesem Dokument werden die Eigenschaften, Anwendbarkeit sowie Vor- und Nachteile von fünf wichtigen Sinterverfahren analysiert und dabei Standards wie GB/T 345052017 (Pulveraufbereitung) und GB/T 183762014 (Mikrostruktur) eingehalten.

2. Eigenschaften, Anwendbarkeit sowie Vor- und Nachteile des Hartmetall-Sinterprozesses

Nachfolgend finden Sie eine detaillierte Beschreibung der fünf Sinterprozesse, zusammen mit Prozessparametern, Ausrüstung, anwendbaren Szenarien sowie Vor- und Nachteilen.

2.1 Vakuumsintern

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Prozessmerkmale :

Prinzip : Wenn der Rohling in einer Vakuumumgebung ($<10^{-2}$ Pa) erhitzt wird, schmilzt die Bindephase (Ni, Co) und bildet eine flüssige Phase, die die Neuordnung und Verdichtung der WC-Partikel fördert.

Parameter :

Temperatur: 1350–1450 °C (Ni-basiert 1350–1400 °C, Co-basiert 1400–1450 °C).

Vakuumgrad: $<10^{-2}$ Pa (O₂ $<0,001$ %).

Warmhaltezeit: 14 Stunden.

Heizrate: 510°C/min.

Dichte: $>99,5\%$ der theoretischen Dichte ($\sim 14,515$ g/cm³).

Ausrüstung : Vakuumsinterofen, z. B. ALD Vacuum Technologies.

Verfahren :

Beladung: Die Rohlinge werden auf Graphitschalen (C $>99,9\%$) gelegt.

Vakuum: $<10^{-2}$ Pa, ausgenommen O₂ und N₂.

Erhitzen: 1350–1450 °C, 14 Stunden warm halten.

Kühlung: 510 °C/min, Argon- Schutz.

Nachbearbeitung : Oberflächenreinigung (Ra $<0,8$ μm), Größenprüfung ($\pm 0,1$ mm).

Anwendbarkeit :

Qualität : YN6, YG15 (konventionelle Korngröße 0,52 μm).

Form : einfach bis mäßig komplex, z. B. Prüfstäbe (5×5×35 mm), Klingen.

Produktionsvolumen : mittleres bis hohes Volumen (100–1000 Stück/Charge).

Vorteil :

Moderate Kosten: Ausrüstung (1003 Millionen Yuan), Energieverbrauch (12 kWh/kg).

Niedriger Sauerstoffgehalt: O $<0,03$ %, wodurch die η-Phase ($<0,5$ %) reduziert und die Festigkeit um 5 % erhöht wird.

Vielseitig einsetzbar: passend für verschiedene Marken (YN6, YG8, YN10).

Manko :

Die Porosität ist etwas höher: 0,0050,01 % (HIP 0,001 %), und eine Nachbearbeitung ist erforderlich.

Eingeschränkte Kornkontrolle: Ultrafeine Körner ($<0,5$ μm) wachsen um 1020 %.

Ungleichmäßiges Schrumpfen komplexer Formen: Abweichung $\pm 0,2$ mm.

Beispiele :

YN6-Teststab: 1400 °C, 2 Stunden, Dichte 14,6 g/cm³, Festigkeit 1,8 GPa (Sandvik, 2023).

Standard :

GB/T 183762014: Porosität $<0,01$ %, η-Phase $<0,5$ %.

GB/T 3851:2015: Festigkeitsnachweis.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

2.2 Heißisostatisches Pressintern (HIP)

Prozessmerkmale :

Prinzip : Sintern unter hoher Temperatur und hohem Druck Argonatmosphäre , die nach dem Flüssigphasensintern in alle Richtungen gleichmäßigen Druck ausübt, um Poren zu beseitigen und die Dichte zu erhöhen.

Parameter :

Temperatur: 1300–1400 °C (Ni-basiert 1300–1350 °C, Co-basiert 1350–1400 °C).

Druck: 100150 MPa.

Atmosphäre: Argon (>99,99 %).

Warmhaltezeit: 13 Stunden.

Dichte: >99,9% theoretische Dichte (~14,815 g/cm³).

Ausrüstung : HIP-Ofen, z. B. Quintus HIP-Serie.

Verfahren :

Vorsintern (Vakuum, 1200–1300 °C, 0,51 h).

Ofenbeschickung: Graphit-/Keramikschale.

HIP: 1300–1400 °C, 100–150 MPa, 13 Stunden.

Kühlung: 510 °C/min, Argon- Schutz.

Nachbearbeitung : Schleifen (Ra <0,4 µm), Leistungsprüfung .

Anwendbarkeit :

Sorte : YN8N, YG6X (ultrafeine Körnung < 0,5 µm).

Form : komplex, wie z. B. Werkzeuge und Formen für die Luftfahrt.

Produktionsvolumen : kleine **Chargen** (<100 Stück/Charge), Produkte mit hoher Wertschöpfung.

Vorteil :

Hohe Dichte: >99,9 %, Porosität <0,001 %, Festigkeit um 1015 % erhöht.

Gute Kornkontrolle: Ultrafeines Kornwachstum <5 %, Härtezunahme 510 % (1800–2200 HV).

Weniger Defekte: Mikrorissrate um 50 % verringert, KIC um 10 % erhöht (912 MPa·m^{1/2}).

Manko :

Hohe Kosten: Ausrüstung (500–1000 Millionen Yuan), Energieverbrauch (35 kWh/kg).

Geringe Effizienz: 46 Stunden für eine einzelne Charge, Leistung <50 Stück/Stunde.

Die Wartung der Geräte ist komplex: Die Kosten für den Austausch von Hochdruckdichtungen betragen 10,2 Millionen RMB pro Jahr.

Beispiele :

YN8N-Werkzeug: 1350 °C, 120 MPa, 2 Stunden, Dichte 14,8 g/cm³, Härte 1800 HV (Sandvik, 2023).

Standard :

GB/T 79972017: Härteprüfung.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 51692013: Porosität <0,001 %.

2.3 Mikrowellensintern

Prozessmerkmale :

Prinzip : Mikrowellen (2,45 GHz) werden verwendet, um den Rohling direkt zu erhitzen. Die Bindephase absorbiert die Mikrowellen, erzeugt Wärme und fördert das Flüssigphasensintern.

Parameter :

Temperatur: 1300–1400 °C.

Leistung: 110 kW.

Atmosphäre: Vakuum ($<10^{-1}$ Pa) oder Ar /H₂.

Haltezeit: 1060 Minuten.

Dichte: >99,5% der theoretischen Dichte ($\sim 14.514,8$ g/cm³).

Ausrüstung : Mikrowellen-Sinterofen, z. B. Linn High Therm .

Verfahren :

Beschickung des Ofens: Der Rohling wird in einen Keramiktiegel (SiC- Zusatzheizung) gelegt. Evakuieren oder Ar /H₂ durchleiten (Flussrate 0,51 l/min).

Mikrowellenerhitzung: 1300–1400 °C, 1060 Min.

Kühlung: 1020 °C/min, Argon- Schutz.

Nachbehandlung : Oberflächenpolieren (Ra < **0,4** μm) .

Anwendbarkeit :

Qualität : YN10, YG8 (Korngröße 0,51,5 μm) .

Form : kleine und mittelgroße Teile, wie Klingen und Bohrer.

Produktionsvolumen : mittlere **Charge** (100.500 Stück/Charge).

Vorteil :

Kurze Sinterzeit: 1060 Minuten (14 Stunden Vakuumsintern), Effizienzsteigerung um 50 %.

Niedriger Energieverbrauch: 0,51 kWh/kg (Vakuumsintern 12 kWh/kg).

Gleichmäßige Korngröße: Wachstum <10 %, Härtezunahme 35 % (1500–1800 HV).

Manko :

Die Ausrüstung ist teuer: 200,5 Millionen RMB, und die Wartungskosten sind hoch (5,1 Millionen RMB/Jahr).

Größenbeschränkungen: Rohling <100 mm, geeignet für kleine und mittelgroße Teile.

Schwierige Temperaturregelung: Abweichung ± 20 °C, erfordert genaue Kalibrierung.

Beispiele :

YN10-Klinge: 1350 °C, 30 min, Dichte 14,7 g/cm³ , KIC 9 MPa·m^{1/2} (ScienceDirect, 2021).

Standard :

GB/T 183762014: Kornabweichung $<\pm 10$ %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

GB/T 38502015: Dichteüberprüfung.

2.4 Funkenplasmasintern (SPS)

Prozessmerkmale :

Prinzip : Der Rohling wird durch einen Gleichstromimpuls (1000–5000 A) schnell erhitzt, während Druck ausgeübt wird, um das Sintern in der Fest-/Flüssigphase zu fördern.

Parameter :

Temperatur: 1200–1300 °C (100–200 °C niedriger als beim Vakuumsintern) .

Druck: 30100 MPa.

Strom: 10005000 A, Impuls 310 ms .

Haltezeit: 530 Minuten.

Dichte: >99,8% theoretische Dichte (~14,715 g/cm³) .

Ausrüstung : SPS-Ofen, wie z. B. Dr. Sinter SPS.

Verfahren :

Matrizenbeladung: Der Rohling wird in eine Graphitmatrize (C >99,9 %) gelegt.

Vakuuieren: <10⁻¹ Pa.

SPS: 1200–1300 °C, 30–100 MPa, 530 min.

Kühlung: 1020 °C/min, Argon- Schutz.

Nachbearbeitung : Schleifen (Ra < 0,2 µm) .

Anwendbarkeit :

Sorte : YN8N, YG6X (ultrafeine Körnung < 0,5 µm) .

Form : Kleine komplexe Teile wie Mikrowerkzeuge (<50 mm).

Produktionsvolumen : Kleine **Chargen** (<100 Stück/Charge).

Vorteil :

Schnelles Sintern: 530 Minuten, Effizienzsteigerung um 80 %.

Hervorragende Kornkontrolle: Wachstum <5 %, geeignet für ultrafeine Körner (<0,5 µm) , Härte 1800–2200 HV.

Hohe Dichte: >99,8 %, Porosität <0,002 %.

Manko :

Die Kosten sind extrem hoch: Ausrüstung (500,8 Millionen Yuan), Form (5,1 Millionen Yuan/Set).

Größenbeschränkungen: leer <50 mm.

Geringe Losgröße: 110 Stück auf einmal, Leistung <100 Stück/Stunde.

Beispiele :

YN8N-Mikrowerkzeug: 1250 °C, 50 MPa, 10 min, Dichte 14,8 g/cm³ , Härte 1800 HV (ScienceDirect, 2021).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Standard :

GB/T 79972017: Härteprüfung.
GB/T 18376-2014: Getreidekontrolle.

2.5 Gasdrucksintern (GPS)

Prozessmerkmale :

Prinzip : Das Flüssigphasensintern wird unter Hochdruckgas (N₂, Ar) durchgeführt , um die Verflüchtigung zu verhindern und die Dichte zu erhöhen.

Parameter :

Temperatur: 1350–1450 °C.
Druck: 110 MPa (niedriger als HIP).
Atmosphäre: N₂/ Ar (>99,99 %).
Warmhaltezeit: 14 Stunden.
Dichte: >99,7% der theoretischen Dichte (~14.614,9 g/cm³) .

Ausstattung : GPS-Ofen, wie FCT-Systeme.

Verfahren :

Beschicken des Ofens: Der Rohling wird auf eine Graphitschale gelegt.
Belüftung: N₂/ Ar , 110 MPa.
Erhitzen: 1350–1450 °C, 14 Stunden warm halten.
Kühlung: 510 °C/min, Argon- Schutz.
Nachbehandlung : Polieren (Ra < 0,4 µm) .

Anwendbarkeit :

Qualität : YN6, YN10 (Korngröße 0,52 µm) .
Form : Mäßig komplex, wie Messer, Formen.
Produktionsvolumen : mittlere Charge (100.500 Stück/Charge).

Vorteil :

Hohe Dichte: >99,7 % , Porosität <0,003 % , Festigkeit um 510 % erhöht.
Moderate Kosten: Ausrüstung (2005 Millionen Yuan), Energieverbrauch (1,52,5 kWh/kg).
Geringe Flüchtigkeit: Verlust der Klebphase <0,1 % , Gleichmäßigkeit >95 % .

Manko :

Niedrigerer Druck: Die Porosität ist etwas höher als bei HIP (0,003 % gegenüber 0,001 %).
Die Sinterzeit war länger: 14 h (530 min für SPS).
Die Genauigkeit komplexer Formen ist etwas geringer: ±0,15 mm.

Beispiele :

YN10-Form: 1400 °C, 5 MPa, 2 Stunden, Dichte 14,7 g/cm³ , KIC 9 MPa·m^{1/2} (Sandvik, 2023).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Standard :

GB/T 183762014: Porosität <0,003 %.

GB/T 3851:2015: Festigkeitsnachweis.

3. Prozessvergleich

Tabelle 1: Vergleich der Hartmetall-Sinterverfahren

Technologie	Temperatur °C	Druck MPa	Dichte %	Anwendbare Form	Ertrag Stück/Charge	kosten	Vorteil	Mangel
Vakuumsintern	1350/1450	keiner	>99,5	Einfach bis mittelkomplex	100/1000	Mitte	Moderate Kosten, niedriger Sauerstoffgehalt, breite Anwendung	Etwas höhere Porosität, eingeschränkte Kornkontrolle, ungleichmäßige Schrumpfung
Heißisostatisches Pressen	1300/1400	100/150	>99,9	Komplex (Werkzeuge, Formen)	<100	hoch	Hohe Dichte, gute Kornkontrolle, wenige Defekte	Hohe Kosten, geringe Effizienz, komplexe Wartung
Mikrowellensintern	1300/1400	keiner	>99,5	Klein und mittel (Klingen, Bohrer)	100/500	Mittel bis hoch	Kurze Zeit, geringer Energieverbrauch, gleichmäßige Körner	Teure Geräte, begrenzte Größe, schwierige Temperaturregelung
Funkenplasmasintern	1200/1300	30/100	>99,8	Klein und komplex (Mikrowerkzeuge)	<100	hoch	Schnell, gute Kornkontrolle, hohe Dichte	Sehr hohe Kosten, begrenzte Größe, geringes Volumen
Gasdrucksintern	1350/1450	110	>99,7	Mittlere Komplexität (Werkzeuge, Formen)	100/500	Mitte	Hohe Dichte, moderate Kosten, geringe Volatilität	Niedriger Druck, lange Zeit, etwas geringere Genauigkeit

4. Anwendbarkeit und Auswahlleitfaden

Vakuumsintern :

Anwendbar : Mittlere bis hohe Chargen, einfache bis mittlere Formen, wie z. B. YN6-Teststäbe, YG15-Klingen.

Gründe für die Auswahl : moderate Kosten (Ausrüstung 1003 Millionen Yuan), niedriger Sauerstoffgehalt (O <0,03 %), geeignet für herkömmliche Qualitäten.

Beispiel : YN6-Teststab, 1400 °C, Dichte 14,6 g/cm³, Festigkeit 1,8 GPa .

Heißisostatisches Pressen :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendbar : Hochleistungs-Komplexeile, wie etwa YN8N-Luftfahrtwerkzeuge und -formen.

Gründe für die Auswahl : Dichte >99,9 %, Porosität <0,001 %, Härte 1800–2200 HV.

Beispiel : YN8N-Werkzeug, 1350 °C, 120 MPa, Härte 1800 HV.

Mikrowellensintern :

Anwendbar auf : kleine und mittelgroße Teile, wie z. B. YN10-Klingen und YG8-Bohrer.

Gründe für die Auswahl : kurze Sinterzeit (1060 Minuten) und geringer Energieverbrauch (0,51 kWh/kg).

Beispiel : YN10-Einsatz, 1350 °C, 30 Min., KIC 9 MPa·m^{1/2}.

Funkenplasmasintern :

Anwendbar : kleine hochpräzise Teile, wie z. B. YN8N-Mikrowerkzeuge.

Gründe für die Auswahl : schnell (530 Minuten), ausgezeichnete Kornkontrolle (<0,5 µm) , Dichte >99,8 %.

Beispiel : YN8N-Mikrowerkzeug, 1250 °C, 50 MPa, Härte 1800 HV.

Gasdrucksintern :

Anwendbar : Mittelkomplexe Teile, wie YN10-Formen und YG15-Werkzeuge.

Gründe für die Auswahl : Dichte > 99,7 %, moderate Kosten, geringe Flüchtigkeit (Bindemittelphasenverlust < 0,1 %).

Beispiel : YN10-Form, 1400 °C, 5 MPa, KIC 9 MPa·m^{1/2}.

Tabelle 2: Eignung des Sinterprozesses

Technologie	Anwendbare Klassen	Anwendbare Form	Leistung (Stück/Charge)	Typische Anwendungen
Vakuumsintern	YN6, YG15	Prüfstab, Klinge	1001000	Messer, Prüfstäbe
Heißisostatisches Pressen	YN8N, YG6X	Komplexe Werkzeuge und Formen	<100	Luftfahrtwerkzeuge, High-End-Formen
Mikrowellensintern	YN10, YG8	Klingen, Bohrer	100500	Kleine und mittelgroße Werkzeuge und Bohrer
Funkenplasmasintern	YN8N, YG6X	Mikromesser	<100	Präzisions-Mikroteile
Gasdrucksintern	YN6, YN10	Schneidwerkzeuge und Formen	100500	Formen und Schneidwerkzeuge

5. Fazit

Jeder Hartmetall-Sinterprozess hat seine eigenen Eigenschaften und muss auf der Grundlage von Qualität, Form, Leistung und Kosten ausgewählt werden:

Vakuumsintern : moderate Kosten, geeignet für mittlere und große Chargen herkömmlicher Qualitäten (YN6, YG15), jedoch mit etwas höherer Porosität (0,005–0,01 %).

Heißisostatisches Pressintern : Dichte > 99,9 %, geeignet für komplexe Hochleistungsteile

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(YN8N), aber hohe Kosten und geringe Effizienz.

Mikrowellensintern : kurze Zeit, geringer Energieverbrauch, **geeignet** für kleine und mittelgroße Teile (YN10), aber in der Größe begrenzt (<100 mm).

Funkenplasmasintern : schnell, gute Kornkontrolle, geeignet für kleine Teile mit ultrafeinen Körnern (YN8N), aber extrem hohe Kosten und geringe Chargengröße.

Gasdrucksintern : hohe Dichte, moderate Kosten, geeignet für **mittelkomplexe** Teile (YN10), aber niedriger Druck und lange Zeit.

Standard :

GB/T 345052017 : Abweichung der Sinterdichte $\leq \pm 0,5$ %.

GB/T 183762014 : Porosität $< 0,01$ %, Kornabweichung $\leq \pm 10$ %.

GB/T 38512015 : Biegefestigkeit (1,82,5 GPa) .

GB/T 7997-2017 : Härte (1400–2200 HV).

GB/T 51692013 : Porosität (A02B00C00).

GB/T 43342020 : Korrosionsbeständigkeit ($< 0,005$ mm/Jahr).

Zukünftige Trends

C), Grünsintern (Energieverbrauch um 20 % reduziert) und nanokristallines Sintern (Körner $< 0,1$ μm) verbessern Leistung und Effizienz.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT



Anhang:

Kurze Einführung eines typischen Hartmetall-Sinterofens

Hartmetall-Sinteröfen sind wichtige Geräte für das Hochtemperaturesintern von Hartmetallblöcken (WC + Co / Ni). Durch präzise Steuerung von Temperatur (1350–1500 °C), Atmosphäre (z. B. H₂, Argon), Druck (0,1200 MPa) und Prozessablauf werden gepresste Blöcke (Dichte 50–70 %) in hochdichte (> 99 %), leistungsstarke Hartmetallprodukte (z. B. Bergbaubohrer, Luftfahrtwerkzeuge und verschleißfeste Formen) umgewandelt. Diese Sinteröfen müssen über eine hochpräzise Temperaturregelung ($\pm 35^{\circ}\text{C}$), gleichmäßige Heizung (Temperaturunterschied $< \pm 10^{\circ}\text{C}$), Atmosphärenstabilität (O₂ < 10 ppm), hohe Zuverlässigkeit und effiziente Produktionskapazität verfügen, um Produkthärte (1400–2200 HV), Festigkeit (1,82,5 GPa), Porosität (< 0,01 %) und Maßgenauigkeit ($\pm 0,010,5$ mm, in Übereinstimmung mit GB/T 345052017) zu gewährleisten. Dieser Artikel kombiniert nationale Normen (wie GB/T 183762014, GB/T 38502015) und Branchenpraktiken (wie ALD, PVA TePla, Quintus, 2023), um die Typen, Eigenschaften, Prozessparameter, Leistungsdaten, Anwendungen und Auswahlempfehlungen typischer Hartmetall-Sinteröfen detailliert vorzustellen.

1. Arten von Hartmetall-Sinteröfen

Hartmetall-Sinteröfen werden je nach Prozessanforderungen und Sinterverfahren in die folgenden drei Kategorien eingeteilt. Jede Kategorie hat spezifische Sinteranforderungen für Hartmetallprodukte (wie Bergbaubohrer, Luftfahrtwerkzeuge und verschleißfeste Formen):

Sinteröfen für Hartmetall :

Einkammer-Vakuumsinteröfen für Hartmetall : kleine und mittlere Chargen, geeignet für

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

komplex geformte Produkte (wie z. B. Luftfahrtwerkzeuge Ø 550 mm).

Mehrkammer-Vakuumsinterofen für Hartmetall : kontinuierliche Produktion im großen Maßstab, geeignet für Bergbaubohrer (Ø 100–400 mm).

Struktur : Einzel-/Mehrkammer, Kammer Ø 300–1000 mm × 500–2000 mm, Heizelemente aus Graphit/Molybdän, Vakuumgrad 10–10 Pa, ausgestattet mit Kondensator und Entwachsungssystem.

Anwendung : Entwachsen und Sintern in einem, geeignet für hochpräzise Produkte.

Ofen zum heißisostatischen Pressen von Hartmetall (HIP) :

Hochtemperatur-HIP-Sinterofen für Hartmetall : Sintern von Hochleistungsprodukten in einem Schritt zur Beseitigung von Mikroporen.

Niedertemperatur-HIP-Sinterofen für Hartmetall : Nachbehandlung zum Sintern zur Leistungssteigerung.

Aufbau : Hochdruckkammer (Ø 200–800 mm × 500–1500 mm), Druck 100–200 MPa, Graphit-/Molybdän-Heizelemente, Argon- Atmosphäre, ausgestattet mit Hochdruckpumpe und Sicherheitsventil.

Anwendung : Luftfahrtwerkzeuge, verschleißfeste Formen, die eine hohe Dichte (> 99,9 %) erfordern.

Sinterofen mit Hartmetallatmosphäre :

Sinterofen für Hartmetall in Wasserstoffatmosphäre : kostengünstige Massenproduktion, geeignet für Bergbau-Meißel.

Sinterofen für Hartmetall unter Inertgas : Hochpräzise Produkte, reduzierte Oxidation, geeignet für Formen.

Struktur : Schubschiff-/Rollentyp, Kammer Ø 500–1500 mm × 1000–3000 mm, H₂/ Ar- Atmosphäre, Graphit-/Keramik-Heizelemente, ausgestattet mit Gasreinigungssystem.

Anwendung : Große Rohlinge, kostengünstige Verarbeitung.

2. Eigenschaften des Hartmetall-Sinterofens

2.1 Struktur und Materialeigenschaften

Hohlraummaterial :

Edelstahl 316L/ Molybdän : Temperaturbeständigkeit >1500°C, korrosionsbeständig, geeignet für Vakuum/Hochdruck.

Graphit-/Keramik -Auskleidung : thermische Gleichmäßigkeit ±10 °C, Wärmeverlust um 20 % reduziert.

Heizelemente :

Graphit : Temperaturbeständigkeit >2000°C, geeignet für Vakuum-/Atmosphärensintern, Lebensdauer >5000 Stunden.

Molybdän/ Wolfram : hohe Reinheit (Verunreinigung <0,01 %), geeignet für HIP,

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Lebensdauer >4000 Stunden.

Isoliermaterial :

Kohlefaserfilz : Wärmeleitfähigkeit <0,1 W/ m · K , Isolationswirkungsgrad 95 %.

Aluminiumoxidfaser : Temperaturbeständigkeit > 1600 °C, Energieeinsparung 1520 %.

Steuerungssystem :

SPS + Touchscreen , Temperaturregelgenauigkeit ± 35 °C, Druckregelung $\pm 0,1$ MPa, Atmosphärendurchflussrate $\pm 0,5$ l/min.

Unterstützt Fernüberwachung, Fehlerdiagnoserate > 98 %.

Sicherheitssystem :

Übertemperatur-/Überdruckschutz, Reaktionszeit des Überdruckventils <0,1 Sekunde.

Gaserkennung (O₂, H₂), automatische Abschaltung bei Überschreitung der Normkonzentration.

2.2 Leistungsmerkmale

Temperaturbereich : 1200–1500 °C (Vakuum/HIP), 800–1400 °C (Atmosphäre).

Genauigkeit der Temperaturregelung : ± 35 °C, Gleichmäßigkeit ± 510 °C (Mehrpunkt-Temperaturmessung).

Vakuumgrad : 10^{-3} 10^{-5} Pa (Vakuumofen), 10^{-2} Pa (Entparaffinierungsphase) .

Druckbereich : 0,1200 MPa (HIP), 0,010,1 MPa (Atmosphäre) .

Atmosphärenkontrolle : H₂ (99,999 %), Ar (**99,99** %), O₂ <510 ppm.

Abkühlrate : 520 °C/min (erzwungene Kühlung, **Argon** / N₂-Injektion), thermische Spannungsreduzierung 30 %.

Produktleistung :

Härte: 1400–2200 HV (GB/T 7997–2017).

Festigkeit: 1,82,5 GPa (GB/T 38512015).

Dichte: >99 % (GB/T 38502015).

Porosität: <0,01 % (GB/T 51692013).

2.3 Prozesseigenschaften

Entparaffinierungseffizienz : Vakuum/Niederdruck H₂, Entparaffinierungsrate > **99,5** % , Restkohlenstoff < 0,05 %.

Sinterzyklus : 824 Stunden (Vakuum 1216 Stunden , HIP 36 Stunden, Atmosphäre 1020 Stunden).

Schrumpfungskontrolle : Schrumpfungsverhältnis 1522 % (YG8 1618 % , YN10 1820 %), Abweichung $\leq \pm 0,5$ % .

Energieverbrauch : 12 kWh/kg (Vakuum/HIP), 0,51 kWh/kg (Atmosphäre) .

Automatisierung : automatisches Be- und Entladen, Atmosphärenanpassung, Steigerung der Produktionseffizienz um 3040 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Produktkonsistenz : Härteabweichung $\leq \pm 50$ HV, Dichteabweichung $\leq \pm 0,1$ g/cm³ .

3. Prozessparameter des Hartmetall-Sinterofens

Sinterofen für Hartmetall :

Entparaffinierungsphase :

Temperatur: 200–600 °C, Heizrate 25 °C/min.

Vakuumgrad: 10^{-2} Pa , H₂-Flussrate 510 l/min.

Zeit: 24 Stunden, Entwachsungsrate > 99 %.

Sinterphase :

Temperatur: 1350–1450 °C, Heizrate 510 °C/min.

Vakuumgrad: 10^{-4} 10^{-5} Pa, 24 Stunden warm halten.

Abkühlung: 10 °C/min (Ar -Zwangskühlung) bis 100 °C.

Typische Parameter :

YG8-Bergbaubohrer: 1400 °C, 10^{-4} Pa, 12 Stunden, Dichte 14,6 g/cm³ .

YN10-Flugzeugwerkzeug: 1450 °C, 10^{-5} Pa, 14 Stunden, Härte 1800 HV.

Ofen zum heißisostatischen Pressen von Hartmetall (HIP) :

Sinterphase :

Temperatur: 1350–1450 °C, Heizrate 58 °C/min.

Druck: 100–150 MPa (Ar), 13 Stunden warm halten.

Abkühlung: 15 °C/min (Aromatherapie mit hohem Druck) , auf 200 °C.

Nachbearbeitungsphase (Niedertemperatur-HIP):

Temperatur: 1300–1350 °C, Druck 80–100 MPa.

Zeit: 12 Stunden, Porosität auf <0,001 % reduziert.

Typische Parameter :

YG6X-Flugzeugwerkzeug: 1400 °C, 120 MPa, 4 Stunden, Dichte 14,9 g/cm³ .

Verschleißfeste Form YG8: 1350 °C, 100 MPa, 3 Stunden, Festigkeit 2,2 GPa .

Sinterofen mit Hartmetallatmosphäre :

Entparaffinierungsphase :

Temperatur: 200–500 °C, Heizrate 35 °C/min.

H₂-Fluss: 2050 l/min, O₂ <10 ppm.

Zeit: 35 Stunden, Restkohlenstoff <0,1 %.

Sinterphase :

Temperatur: 1300–1400 °C, Heizrate 510 °C/min.

Atmosphäre: H₂ (99,999 %), 35 Stunden warm halten.

Abkühlung: 510°C/min (N₂-Schutz), bis 100°C.

Typische Parameter :

YG6-Meißel: 1350 °C, H₂ 30 l/min, 12 Stunden, Härte 1400 HV.

YN10-Form: 1400 °C, Ar 20 l/min, 15 Stunden, Genauigkeit $\pm 0,01$ mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

4. Leistungsdaten des Hartmetall-Sinterofens

Sinterofen für Hartmetall :

Produktleistung :

Dichte: 14,514,9 g/cm³ (YG 8/YG6X), Abweichung $\pm 0,1$ g/cm³ .

Härte: 1400–2000 HV, Abweichung ± 50 HV.

Festigkeit: 1,82,3 GPa , Porosität <0,01 %.

Geräteleistung :

Genauigkeit der Temperaturregelung: ± 3 °C (PID-Regelung, 10-Punkt-Temperaturmessung).

Vakuumgrad: 10⁻⁵ Pa (Molekularpumpe), Leckrate <10⁻⁸ Pa·m³ / s.

Energieverbrauch: 1,5 kWh/kg, Produktionskapazität: 50200 kg/Ofen.

Konsistenz : Chargenhärteabweichung <2 % , Maßabweichung $\pm 0,020,5$ mm.

Ofen zum heißisostatischen Pressen von Hartmetall (HIP) :

Produktleistung :

Dichte: 14.815,0 g/cm³ (YG 6X/YN10), Abweichung $\pm 0,05$ g/cm³ .

Härte: 1800–2200 HV, Abweichung ± 30 HV.

Festigkeit: 2,22,5 GPa , Porosität <0,001 %.

Geräteleistung :

Genauigkeit der Temperaturregelung: ± 5 °C, Druckregelung $\pm 0,1$ MPa.

Druckstabilität: $\pm 0,5$ % (100150 MPa), Ar- Verbrauch 50100 L/Ofen.

Energieverbrauch: 2 kWh/kg, Produktionskapazität: 20100 kg/Ofen.

Konsistenz : Chargendichteabweichung <0,5 % , Genauigkeit $\pm 0,010,05$ mm.

Sinterofen mit Hartmetallatmosphäre :

Produktleistung :

Dichte: 14,514,8 g/cm³ (YG 6/YN10), Abweichung $\pm 0,15$ g/cm³ .

Härte: 1400–1800 HV, Abweichung ± 60 HV.

Festigkeit: 1,82,2 GPa , Porosität <0,02 %.

Geräteleistung :

Genauigkeit der Temperaturregelung: ± 5 °C, Luftdurchflussrate $\pm 0,5$ l/min.

H₂-Verbrauch: 100200 L/Ofen, O₂ <10 ppm.

Energieverbrauch: 0,8 kWh/kg, Produktionskapazität: 100500 kg/Ofen.

Konsistenz : Chargenhärteabweichung <3 % , Größenabweichung $\pm 0,10,5$ mm.

5. Anwendung eines Hartmetall-Sinterofens

Sinterofen für Hartmetall :

Anwendungsszenarien :

Gesinterte Bergbaubohrer (z. B. Rollenbohrer Ø 100–400 mm) erfordern eine hohe Zähigkeit.

Luftfahrtwerkzeuge (z. B. Kugelkopffräser Ø 550 mm) erfordern eine hohe Präzision.

Leistung :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Temperatur: 1350–1450 °C, 10^{-4} – 10^{-5} Pa.

Zyklus: 1216 Stunden, Dichte > 99 %.

Genauigkeit: $\pm 0,020,5$ mm, Härte 1400–2000 HV.

Beispiele :

Einkammer-Vakuum-Sinterofen für Hartmetall (ALD VKPgr , Ø 400 × 1200 mm):

Sintern eines YG8-Bergbaubohrers (Ø 20 × 330 mm), 1450 °C, 10^{-4} Pa, 12 h.

Ergebnisse: Dichte 14,6 g/ cm³, Härte 1400 HV, Schrumpfungsrates 16 %, Porosität <0,01 % (ScienceDirect, 2021).

Mehrkammer-Vakuum-Sinterofen für Hartmetall (PVA TePla COD, Ø 600 × 1500 mm):

Sintern eines YN10-Flugzeugwerkzeugs (Ø 10 × 100 mm), 1400 °C, 10^{-5} Pa, 14 h.

Ergebnisse: Dichte 14,8 g/ cm³, Härte 1800 HV, Genauigkeit $\pm 0,02$ mm, KIC 10 MPa·m^{1/2}.

Ofen zum heißisostatischen Pressen von Hartmetall (HIP) :

Anwendungsszenarien :

Luftfahrtwerkzeuge (wie etwa Fräser) können Mikroporen beseitigen und die Dichte verbessern.

Verschleißfeste Formen (wie etwa Kaltprägeformen 100 × 100 × 30 mm) können die Ermüdungsbeständigkeit verbessern.

Leistung :

Temperatur: 1350–1450 °C, 100–150 MPa.

Zyklus: 36 Stunden, Dichte > 99,9 %.

Genauigkeit: $\pm 0,010,05$ mm, Härte 1800–2200 HV.

Beispiele :

Hochtemperatur-HIP-Sinterofen für Hartlegierungen (Quintus QIH, Ø 300 × 1000 mm):

Sintern eines YG6X-Flugzeugwerkzeugs (Ø 12 × 80 mm), 1400 °C, 120 MPa, 4 Stunden.

Ergebnisse: Dichte 14,9 g/ cm³, Härte 2000 HV, Porosität <0,001 %, Festigkeit 2,3 GPa .

Niedertemperatur-HIP-Sinterofen für Hartmetall (ALD HP, Ø 250 × 800 mm):

Nachbehandlung der verschleißfesten Form YG8 (100 × 100 × 30 mm), 1350 °C, 100 MPa, 3 h.

Ergebnisse: Porosität <0,001 %, Festigkeit 2,2 GPa , Lebensdauer um 20 % erhöht.

Sinterofen mit Hartmetallatmosphäre :

Anwendungsszenarien :

Bergbaumeißel (z. B. konische Meißel Ø 20 mm), Massenproduktion.

Verschleißfeste Formen (z. B. Kunststoffformformen 80 × 80 × 20 mm), kostengünstige Verarbeitung.

Leistung :

Temperatur: 1300–1400 °C, H₂/ Ar -Atmosphäre.

Zyklus: 1020 Stunden, Dichte > 99 %.

Genauigkeit: $\pm 0,1$ – $0,5$ mm, Härte 1400–1800 HV.

Beispiele :

Sinterofen für Hartmetall in Wasserstoffatmosphäre (ECM Lilas, Ø 800 × 2000 mm):

Sintern eines YG6-Picks (Ø 20 × 50 mm), 1350 °C, H₂ 30 l/min, 12 Stunden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ergebnisse: Dichte 14,5 g/ cm³, Härte 1400 HV, Lebensdauer 80 Stunden, Porosität <0,02 %.

Schutzgas-Sinterofen für Hartmetall (Centorr , Ø 600 × 1500 mm):

Sintern einer YN10-Kunststoffform (80 × 80 × 20 mm), 1400 °C, Ar 20 l/min, 15 Stunden.

Ergebnisse: Dichte 14,7 g/ cm³, Genauigkeit ±0,01 mm, Härte 1600 HV.

6. Vergleich der Hartmetall-Sinterofentypen

Sinterofentyp	Temperatur °C	Druck MPa	Atmosphäre	Zyklus Stunde	Dichte %	Genauigkeit mm	Energieverbrauch kWh/kg	Typische Anwendungen
Einkammer- Vakuumsinterofen aus Hartmetall	1350/1450	10 ⁻³ 10 ⁻⁵ Pa	Vakuum	1216	>99	±0,020,5	1,5	Bohrer und Fräser für den Bergbau
Hochtemperatur-HIP- Sinterofen für Hartmetall	1350/1450	100150	Ar	36	>99,9	±0,010,05	2	Werkzeuge und Formen für die Luftfahrt
Sinterofen für Hartmetall in Wasserstoffatmosphäre	1300/1400	0,1	H2	1020	>99	±0,10,5	0,8	Picks, Matrizen

7. Auswahlempfehlungen

Nach Produkttyp

Luftfahrtwerkzeuge (hohe Präzision, komplexe Formen) :

Empfohlen: Hartmetall-Vakuum-Sinterofen (Einzelkammer) oder Hochtemperatur-HIP-Sinterofen.
Grund: Vakuumgrad 10⁻⁵ Pa sorgt für geringe Kontamination, HIP-Druck 120 MPa eliminiert Mikroporen, Genauigkeit ±0,010,05 mm.

Modell: ALD VKPgr (Ø 400 × 1200 mm, 50100 kg/Ofen), Quintus QIH (Ø 300 × 1000 mm, 2050 kg/Ofen).

Bohrer/Schneider für den Bergbau (große Größe, Massenproduktion) :

Empfohlen: Mehrkammer-Vakuumsinterofen aus Hartmetall oder Sinterofen mit Wasserstoffatmosphäre.

Grund: Mehrere Kammern unterstützen eine kontinuierliche Produktion (200–500 kg/Ofen) und die Kosten für die H2-Atmosphäre sind niedrig (0,8 kWh/kg).

Modelle: PVA TePla COD (Ø 600 × 1500 mm, 200 kg/Ofen), ECM Lilas (Ø 800 × 2000 mm, 300 kg/Ofen).

Verschleißfeste Form (hohe Dichte, ermüdungsfrei) :

Empfohlen: Hochtemperatur-HIP-Sinterofen für Hartmetall oder Niedertemperatur-HIP-Nachbehandlung.

Grund: HIP gewährleistet eine Dichte von >99,9 %, eine Porosität von <0,001 % und eine Festigkeitssteigerung von 1020 %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Modelle: ALD HP ($\varnothing 250 \times 800$ mm, 2050 kg/Ofen), Quintus QIH ($\varnothing 300 \times 1000$ mm).

Je nach Produktionsbedarf

Kleine und mittlere Chargen (<100 kg/Ofen) : Einkammer-Vakuumsinterofen oder kleiner HIP-Ofen, hohe Flexibilität, geeignet für F&E oder kundenspezifische Produkte.

Große Charge (> 200 kg/Ofen) : Mehrkammer-Vakuumsinterofen oder Atmosphärensinterofen, hohe Produktionskapazität, Stückkosten um 2030 % reduziert.

Nach Kostenbudget

niedrige Kosten

Sinterofen mit Wasserstoffatmosphäre aus Hartmetall, Energieverbrauch 0,8 kWh/kg, 3050 % niedrigere Gerätekosten (ca. 501 Millionen US-Dollar).

hohe Leistung

Der Hochtemperatur-HIP-Sinterofen für Hartmetall hat einen Energieverbrauch von 2 kWh/kg und hohe Gerätekosten (ca. 2005 Millionen US-Dollar), aber die Produktleistung wird um 20 % verbessert.

Je nach Prozessanforderungen :

Hohe Präzision ($\pm 0,010,05$ mm) : Vakuumsinterofen (10^{-5} Pa) + HIP (120 MPa), Schrumpfungabweichung $< \pm 0,5$ %.

Geringe Umweltverschmutzung : Durch den Einsatz von Mo/Wolfram-Heizelementen und einer Ar- Atmosphäre wird die Umweltverschmutzung um 30 % reduziert.

Schnelle Produktion : HIP-Ofen (36 Stunden) oder Mehrkammer-Vakuufofen (kontinuierliche Produktion).

Umwelt und Sicherheit :

H₂- Atmosphäre : Gaserkennung ($O_2 < 10$ ppm) und Druckentlastungssystem (Reaktion $< 0,1$ Sek.) sind erforderlich.

HIP Hochdruck : Wählen Sie Geräte mit Sicherheitsventil und Drucküberwachung (Leckrate $< 10^{-8}$ Pa·m³/s).

8. Optimierungsvorschläge

Ausrüstung :

Heizelement : Molybdän/Wolfram (HIP/Vakuu), Schadstoffreduzierung um 30 %, Lebensdauer > 4000 Stunden .

Isoliermaterial : Kohlefaserfilz + Aluminiumoxidfaser, Wärmeverlust um 20 % reduziert, Energieeinsparung 15 %.

Kammer : Edelstahl 316L + Graphitauskleidung, Korrosionsbeständigkeit um 25 % erhöht, Lebensdauer > 10 Jahre.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Prozessoptimierung :

Temperaturregelung : Verbesserter PID+AI- **Algorithmus** , Genauigkeit ± 3 °C, Gleichmäßigkeit ± 5 °C.

Entparaffinierung : Vakuum (10^{-2} Pa) + H₂ (510 l/min), Entparaffinierungsrate >99,5 % , Restkohlenstoff <0,05 % .

HIP : 1350 °C, 120 MPa, 2 Stunden Wärmespeicherung, Zyklus um 20 % verkürzt, Dichte um 0,5 % erhöht.

Atmosphärenkontrolle :

H₂- Reinheit : >99,999 % , O₂ <5 ppm, Oxidationsrate um 50 % reduziert.

Ar Zirkulation : Durchflussrate 2050 l/min, Rückgewinnungsrate > 80 % , Kostensenkung 15 % .

Kühlungsoptimierung :

Zwangskühlung : Hochdruck- Ar- Injektion (1520 °C/min), Reduzierung der thermischen Spannung um 30 % .

Mehrstufige Kühlung : 800 °C/400 °C/100 °C segmentiert, Genauigkeit um 10 % verbessert.

Wartung und Automatisierung :

Online -Überwachung : Echtzeitüberwachung von Temperatur, Druck und Atmosphäre, wodurch die Ausfallrate um 20 % reduziert wird.

Automatisches Be- und Entladen : Robotersystem senkt die Arbeitskosten um 30 % und erhöht die Effizienz um 40 % .

Wartungszyklus : Graphitkomponenten sollten alle 5.000 Stunden überprüft und **die** Kammer jährlich gereinigt werden, was die Lebensdauer um 25 % verlängern kann.

9. Normen

GB/T 345052017 : Maßgenauigkeit $\pm 0,01$ mm, Toleranzabweichung $< \pm 5$ % .

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

GB/T 38502015 : Dichte > 99 % .

GB/T 51692013 : Porositätsgrad A02B00C00.

GB/T 38512015 : Biegefestigkeit 1,82,5 GPa .

GB/T 79972017 : Härte 14002200 HV.

10. Fazit

Es gibt drei Kategorien von Sinteröfen für Hartmetall: Vakuumsinteröfen für Hartmetall, Sinteröfen mit heißisostatischem Pressen und Atmosphärensinteröfen, die den Sinteranforderungen von Bergbaubohrern, Luftfahrtwerkzeugen und verschleißfesten Formen gerecht werden:

Vakuum-Sinterofen für Hartmetall

Komplexe Form, 1350–1450 °C, 10^{-5} Pa, Dichte > 99 % , Genauigkeit $\pm 0,020,5$ mm.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Sinterofen für heißisostatisches Pressen von Hartmetall

Hochleistungsprodukte, 100–150 MPa, Dichte > 99,9 %, Porosität < 0,001 %.

Sinterofen mit Hartmetallatmosphäre

Massenproduktion, 1300–1400 °C, H₂/ Ar , niedrige Kosten, geeignet für Spitzschneider.

Diese Sinteröfen verbessern die Leistung und Produktionseffizienz von Hartmetallprodukten deutlich durch hochpräzise Temperaturregelung, Atmosphärenstabilität und effiziente Prozesse und finden breite Anwendung im Bergbau, der Luftfahrt und im Formenbau. Produktgenauigkeit, Leistung, Kosten und Prozessanforderungen müssen bei der Modellauswahl berücksichtigt werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

Wie hoch ist die Sinterdichte von Hartmetall?

Kurze Einführung in die Sinterdichte von Hartmetall

Die Sinterdichte von Hartmetall gibt die Materialdichte an, die der Rohling (gepresstes Pulver, die Anfangsdichte beträgt üblicherweise 50–70 % der theoretischen Dichte) während des Hochtemperatur-Sinterprozesses von Hartmetall (z. B. WC+ Co , WC+Ni) durch Partikelumlagerung, Diffusion und Porenbeseitigung erreicht. Sie wird üblicherweise als tatsächliche Dichte (g/cm^3) oder relative Dichte (Prozentsatz der theoretischen Dichte) angegeben. Die Sinterdichte wirkt sich direkt auf die Leistung des Hartmetalls aus, einschließlich Härte (1400–2200 HV), Festigkeit (1,8–2,8 GPa), Verschleißfestigkeit und Porosität (<0,01 %). Sie ist ein wichtiger Indikator zur Beurteilung der Sinterqualität und muss nationalen Normen (z. B. GB/T 3850-2015, GB/T 1837-6-2014) entsprechen. Die hohe Sinterdichte (> 99 % theoretische Dichte) stellt sicher, dass das Produkt keine Mikroporen aufweist und eine hervorragende Leistung aufweist und für Anwendungen wie verschleißfeste Formen, Bergbauwerkzeuge und Tiefseedichtungen geeignet ist.

1. Definition der Sinterdichte von Hartmetall

Tatsächliche Dichte

Die Masse pro Volumeneinheit von Hartmetall nach dem Sintern (g/cm^3) wird mit der Archimedischen Methode (GB/T 38502015) oder durch direkte Messung berechnet.

Relative Dichte

Das Verhältnis der tatsächlichen Dichte zur theoretischen Dichte (ideale Dichte im vollständig dichten Zustand), üblicherweise in Prozent angegeben. Beispielsweise beträgt die theoretische Dichte von YG8 (WC + 8 % Co) etwa $14,7 \text{ g/cm}^3$, die tatsächliche Dichte nach dem Sintern $14,65 \text{ g/cm}^3$ und die relative Dichte 99,66 %.

Theoretische Dichte

basierend auf dem Massenanteil der Hartmetallkomponenten (WC, Co/Ni, Additive) und der Dichte der einzelnen Komponenten (WC: $15,63 \text{ g/cm}^3$, Co: $8,9 \text{ g/cm}^3$, Ni: $8,9 \text{ g/cm}^3$).

Die Bedeutung der Sinterdichte von Hartmetall

Auswirkungen auf die Leistung

Eine hohe Sinterdichte (> 99 %) verringert die Porosität (< 0,01 %, GB/T 51692013), verbessert die Härte (Erhöhung um 510 %), die Festigkeit (Erhöhung um 1020 %) und die Verschleißfestigkeit (Verschleißverlust um 2030 % verringert).

Qualitätskontrolle

Die Sinterdichte spiegelt den Optimierungsgrad des Sinterprozesses (z. B. Temperatur, Druck und Atmosphäre) wider. Eine niedrige Dichte (<95 %) kann zu Mikroporen und unzureichender Festigkeit führen und somit die Lebensdauer des Produkts beeinträchtigen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Bewerbungsvoraussetzungen

Hartmetall mit hoher Dichte (z. B. > 99,9 %, HIP-Sintern) eignet sich für Tiefseedichtungen und Luftfahrtwerkzeuge; mittlere Dichte (> 98 %) eignet sich für Bergbaupickel.

2. Faktoren, die die Sinterdichte von Hartmetall beeinflussen

Pulvereigenschaften:

Korngröße: Feine Körner ($0,52 \mu\text{m}$) fördern die Diffusion und erhöhen die Dichte um 12 %, bei groben Körnern ($>5 \mu\text{m}$) können Restporen entstehen.

Homogenität: Die Pulver werden gleichmäßig gemischt (Kugelmahlen für 1624 Stunden, $D50$ $50150 \mu\text{m}$), mit reduzierter Entmischung und Dichteabweichung $\leq \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$.

Bindemittel: PEG/Paraffin (0,52 Gew.-%), optimiert für das Formpressen, mit 510 % höherer Anfangsdichte.

Pressvorgang:

Druck: Durch kalisostatisches Pressen (200–300 MPa) wird die Dichte des Rohlings erhöht (60–70 %), und nach dem Sintern erhöht sich die Dichte um 13 %.

Matrize: Gleichmäßige Druckverteilung, weniger Rohlingsfehler und 10 % höhere Dichtekonsistenz.

Sinterprozess:

Temperatur: 1350–1500 °C (Vakuum/HIP), zu niedrig ($<1300 \text{ °C}$) führt zu unzureichender Dichte ($<95 \%$), zu hoch ($>1550 \text{ °C}$) führt zu Kornwachstum und Dichteabnahme von 0,51 %.

Isolationszeit: 24 Stunden (Vakuum), 13 Stunden (HIP), Dichte steigt bei Verlängerung um 1 Stunde um 0,20,5 %.

Atmosphäre: H_2/Ar ($\text{O}_2 < 510 \text{ ppm}$) zur Vermeidung von Oxidation, die Dichte der Ni/Co-basierten Legierung um 0,5 % erhöht; Vakuum ($10^{-4} \text{ } 10^{-5} \text{ Pa}$) zur Entfernung des Bindemittels, die Dichte um 1 % erhöht.

Druck: HIP (100–150 MPa) beseitigt Mikroporen und erreicht eine Dichte von $>99,9 \%$, konventionelles Sintern (0,1 MPa) erreicht eine Dichte von 9899 %.

Leistung des Sinterofens:

Temperaturregelgenauigkeit: $\pm 35 \text{ °C}$, Gleichmäßigkeit $\pm 10 \text{ °C}$, Dichteabweichung $\leq \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$.

Vakuumgrad: 10^{-5} Pa (Vakuumofen), Entwachseffizienz $> 99,5 \%$, Restkohlenstoff $< 0,05 \%$.

Abkühlrate: 520 °C/min , kontrollierte thermische Belastung, 5 % Erhöhung der Dichtekonstanz.

3. Zusammenhang zwischen Sinterdichte und Sinterprozess

Vakuumsintern:

Prozess: Entparaffinieren (200–600 °C, 10^{-2} Pa) → Sintern (1350–1450 °C, $10^{-4} \text{ } 10^{-5} \text{ Pa}$) → Abkühlen (1015 °C/min).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Dichte: 9899,5 % (YG8: 14,514,65 g/cm³), Porosität <0,01 %.

Anwendbar auf: Bergbaubohrer, Formen, niedrige Kosten.

Heißisostatisches Pressen (HIP):

Verfahren: Sintern (1350–1450 °C, 100–150 MPa, Argon) → Nachbehandeln (1300–1350 °C, 80–100 MPa) → Abkühlen (1520 °C/min).

Dichte: >99,9% (YG8: 14,6514,7 g/cm³), Porosität <0,001%.

Anwendung: Luftfahrtwerkzeuge, Tiefseedichtungen, hohe Leistungsanforderungen.

Atmosphärensintern:

Prozess: Entwachsen (200–1400 °C, H₂ 2050 l/min) → Sintern (1300–1400 °C, H₂/ Ar) → Kühlen (510 °C/min).

Dichte: 9899 % (YG6: 14.414,5 g/cm³), Porosität <0,02 %.

Anwendbar für: Pick-Cutting, Massenproduktion, niedrige Kosten.

4. Leistungsdaten der Sinterdichte

Sintertyp	Marke	Tatsächliche Dichte (g/cm ³)	Relative Dichte (%) theoretisch	Porosität (%)	Härte (HV)	Festigkeit (GPa)	Typische Anwendungen
Vakuumsintern	YG8	14.514.65	98.699.7	<0,01	14001800	1.82.3	Bergbaubohrer
HIP-Sintern	YG6X	14.814.9	>99,9	<0,001	18002200	2.22.8	Luftfahrtwerkzeuge
Atmosphärensintern	YN10	14.414.5	98.099.0	<0,02	14001600	1.82.2	Druckmittler

Beispiele:

Vakuumsintern: YG8-Bohrer (Ø 20 × 330 mm), 1450°C, 10⁻⁴ Pa, 12 Stunden, Dichte 14,6 g/cm³ (99,3 %), Härte 1400 HV.

HIP-Sintern: YG6X-Werkzeug (Ø 12 × 80 mm), 1400 °C, 120 MPa, 4 Stunden, Dichte 14,9 g/cm³ (> 99,9 %), Porosität < 0,001 %.

Atmosphärensintern: YN10-Dichtung (Ø 50 mm), 1350 °C, H₂ 30 L/min, 12 Stunden, Dichte 14,5 g/cm³ (98,6 %), ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit.

5. Vorschläge zur Optimierung der Sinterdichte

Pulveroptimierung:

Es wird WC mit mittlerer Feinkörnigkeit (0,5–1,5 µm) gewählt, die Dichte erhöht sich um 12 %.

Die Zugabe von Cr₃C₂ (0,20,5 Gew.-%) hemmt das Kornwachstum und erhöht die Dichte um 0,5 %.

Pressvorgang:

Durch Erhöhung des Pressdrucks (250–300 MPa) erhöhte sich die Ausgangsdichte um 510 %.

Optimieren Sie die Form, reduzieren Sie Knüppeldefekte und erhöhen Sie die Dichtekonsistenz um

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

10 %.

Sinterprozess:

Temperatur: Kontrolle 1400–1450 °C (YG8/YG6X), Überbrennen vermeiden, Dichte um 0,5 % erhöhen.

Atmosphäre: H₂-Reinheit > 99,999 %, O₂ < 5 ppm, Dichte der Ni-basierten Legierung um 0,5 % erhöht.

HIP: 1350 °C, 120 MPa, 2 Stunden, Dichte >99,9 %.

Geräteoptimierung:

Verbesserte Temperaturregelung ($\pm 3^{\circ}\text{C}$), Dichteabweichung $< \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$.

Durch den Einsatz von Heizelementen aus Molybdän/Wolfram wird die Verschmutzung um 30 % reduziert und die Dichte um 0,2 % erhöht.

Nachbearbeitung:

Nach der HIP-Behandlung (1300 °C, 100 MPa) wurde die Porosität auf <0,001 % reduziert.

Durch Polieren ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$) werden Oberflächendefekte reduziert und die Verschleißfestigkeit um 20 % erhöht.

6. Normen

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

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

GB/T 51692013: Porositätsgrad A02B00C00.

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

GB/T 7997-2017: Härte 1400–2200 HV.

7. Fazit

Die Sinterdichte von Hartmetall ist der wichtigste Indikator für die Sinterqualität und beeinflusst direkt Härte, Festigkeit und Haltbarkeit des Produkts. Eine hohe Sinterdichte (> 99 %) wird durch optimierte Pulver-, Press- und Sinterprozesse (z. B. HIP 1350 °C, 120 MPa) erreicht. Dadurch wird eine Porosität < 0,001 % gewährleistet, die für Hochleistungsanwendungen (z. B. Tiefseedichtungen, Luftfahrtwerkzeuge) geeignet ist. Vakuumsintern (9899,5 %), HIP (> 99,9 %) und Atmosphärenintern (9899 %) erfüllen jeweils unterschiedliche Anforderungen. Das Verfahren muss entsprechend dem Anwendungsszenario ausgewählt werden.

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:

Was ist Carbidporosität ?

Einführung in die Porosität von Hartmetall

Die Porosität von Hartmetall bezieht sich auf den Prozentsatz des Volumens der winzigen Poren (Poren oder Hohlräume), die während des Sinterprozesses von Hartmetall (wie WC+ Co , WC+ Ni) zum Gesamtvolumen. Es wird üblicherweise als Prozentsatz ausgedrückt (z. B. <0,01 %) oder gemäß der nationalen Norm GB/T 5169-2013 als A-, B- oder C-Klasse klassifiziert (z. B. A02B00C00).

Die Porosität ist ein wichtiger Indikator für die Qualität des Sinterns von Hartmetall. Sie beeinflusst direkt die Dichte (14,5–15,0 g/cm³) , Härte (1400–2200 HV), Festigkeit (1,8–2,8 GPa) , Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit des Materials. Geringe Porosität (<0,001 %, z. B. beim HIP-Sintern) gewährleistet hohe Leistung und eignet sich für anspruchsvolle Anwendungen wie Luftfahrtwerkzeuge und Tiefseedichtungen. Höhere Porosität (0,01–0,02 %, z. B. beim Atmosphärensintern) eignet sich für kostenbewusste Bergbaumeißel.

Dieser Artikel kombiniert nationale Standards (wie GB/T 183762014, GB/T 51692013) und Branchenpraktiken, um die Definition, Messung, Einflussfaktoren und Optimierungsmaßnahmen der Hartmetallporosität detailliert vorzustellen.

1. Definition der Porosität von Hartmetall

Porosität

Das Verhältnis des inneren Porenvolumens zum Gesamtvolumen des Hartmetalls wird normalerweise indirekt durch mikroskopische Beobachtung (metallografische Analyse, GB/T 5169-2013) oder Dichtemessung (Archimedes-Methode, GB/T 3850-2015) berechnet.

Formel: Porosität (%) = (1 tatsächliche Dichte/theoretische Dichte) × 100.

Beispielsweise beträgt die theoretische Dichte von YG8 14,7 g/cm³ , die tatsächliche Dichte 14,65 g/cm³ und die Porosität ≈ 0,34 %.

Porositätstyp:

Poren vom Typ A: Durchmesser <10 μ m , winzige Poren, die die Festigkeit beeinträchtigen.

Porentyp B: Durchmesser 1025 μ m , größere Poren, verringerte Verschleißfestigkeit.

Poren vom Typ C: Poren, die durch Carbidaggregation oder Einschlüsse gebildet werden und die Korrosionsbeständigkeit beeinträchtigen.

Gütenorm (GB/T 51692013):

A02: Poren der Klasse A <0,02 mm²/cm² .

B00: Keine Poren der Klasse B.

C00: Keine Poren vom Typ C.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Die Bedeutung der Hartmetallporosität

Auswirkungen auf die Leistung

Eine hohe Porosität ($> 0,1 \%$) führt zu einer geringeren Dichte ($< 98 \%$), einer geringeren Härte (5–10 %), einer geschwächten Festigkeit (10–20 %) und einer schlechteren Verschleißfestigkeit (Verschleißzunahme von 20–30 %), was leicht zu Ermüdungsbrüchen oder Korrosion führen kann.

Qualitätskontrolle

Die Porosität spiegelt die Effektivität des Sinterprozesses (z. B. Temperatur, Druck und Atmosphäre) wider. Eine geringe Porosität ($< 0,001 \%$) weist auf eine ausreichende Sinterung und ein dichtes Material hin.

Bewerbungsvoraussetzungen

Hochleistungsanwendungen (Werkzeuge für die Luft- und Raumfahrt, Tiefseedichtungen): Porosität $< 0,001 \%$ (HIP-Sintern), wodurch keine Mikroporen entstehen und eine hohe Druck-/Korrosionsbeständigkeit gewährleistet wird.

Allgemeine Anwendung (Bergbau-Meißel, Formen): Porosität $< 0,02 \%$ (Sintern in der Atmosphäre), um das Gleichgewicht zwischen Kosten und Leistung zu erreichen.

2. Porositätsmessverfahren

Metallographische Analyse (GB/T 51692013):

Schritt:

Probenvorbereitung: Schneiden und Polieren ($R_a < 0,2 \mu\text{m}$).

Mikroskopische Beobachtung: optisches Mikroskop (100–1000-fach), Zählen der Anzahl und Fläche der Poren vom Typ A/B/C.

Klassifizierung und Bewertung: A02, B00 und andere Klassen werden nach Porendurchmesser und -verteilung bestimmt.

Vorteile: intuitiv, kann Porentypen unterscheiden.

Einschränkungen: Es wird nur die Oberfläche beobachtet, es sind mehrere Probenahmepunkte erforderlich.

Dichtemessung (GB/T 38502015):

Schritt:

Messung der tatsächlichen Dichte: Archimedisches Verfahren (Wiegen in Wasser, Genauigkeit $\pm 0,01 \text{ g/cm}^3$).

Berechnen Sie die Porosität: $(1 \text{ tatsächliche Dichte} / \text{theoretische Dichte}) \times 100$.

Vorteile: Schnelle, ganzheitliche Beurteilung.

Einschränkungen: Porentypen können nicht unterschieden werden.

Andere Methoden:

Röntgen-CT: 3D-zerstörungsfreie Prüfung, Genauigkeit $\pm 0,001 \%$, geeignet für hochpräzise Anwendungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ultraschallprüfung: erkennt große Poren ($>25 \mu\text{m}$), wird bei großformatigen Produkten eingesetzt.

3. Faktoren, die die Porosität von Hartmetall beeinflussen

Pulvereigenschaften:

Korngröße: Feine Körner ($0,52 \mu\text{m}$) fördern die Diffusion und reduzieren die Porosität um 50 %, grobe Körner ($>5 \mu\text{m}$) neigen zu Restporen.

Homogenität: Ungleichmäßige Pulvermischung (unzureichendes Kugelmahlen <16 Stunden) führte zu lokalen Poren und die Porosität erhöhte sich um 0,10,2 %.

Bindemittel: Eine übermäßige Menge an PEG/Paraffin (0,52 Gew.-%) führte zu einer unvollständigen Entwachsung und einer Erhöhung der Porosität um 0,050,1 %.

Pressvorgang:

Druck: Durch kalisostatisches Pressen (200–300 MPa) wird die Dichte des Rohlings erhöht (60–70 %) und die Porosität um 0,1–0,2 % verringert.

Mängel: Durch Formverschleiß oder ungleichmäßigen Druck entstehen Risse im Rohling und die Porosität erhöht sich um 0,20,5 %.

Sinterprozess:

Temperatur: 1350–1500 °C (Vakuum/HIP), zu niedrig (<1300 °C) ist die Porosität $>0,1$ %, zu hoch (>1550 °C) wachsen die Körner und die Porosität erhöht sich um 0,05 %.

Isolationszeit: 24 Stunden (Vakuum), 13 Stunden (HIP), die Porosität nimmt bei einer Verlängerung um 1 Stunde um 0,010,02 % ab.

Atmosphäre: H₂/ Ar (O₂ <510 ppm) zur Vermeidung von Oxidation, Porosität um 0,02 % reduziert; Vakuum (10^{-4} – 10^{-5} Pa) zur gründlichen Entwachsung, Porosität um 0,05 % reduziert.

Druck: HIP (100–150 MPa) eliminiert Mikroporen und die Porosität beträgt $<0,001$ %; herkömmliches Sintern (0,1 MPa) hat eine Porosität von 0,01–0,02 %.

Leistung des Sinterofens:

Genauigkeit der Temperaturregelung: ± 35 °C, Gleichmäßigkeit ± 510 °C, Porositätsabweichung $<\pm 0,005$ %.

Vakuumgrad: 10^{-5} Pa, Entparaffinierungseffizienz $> 99,5$ %, Restkohlenstoff $< 0,05$ %, Porositätsreduzierung 0,02 %.

Abkühlrate: 520 °C/min, kontrollierte thermische Belastung, erhöhte Porositätskonsistenz um 10 %.

4. Zusammenhang zwischen Porosität und Sinterprozess

Vakuumsintern:

Prozess: Entparaffinieren (200–600 °C, 10^{-2} Pa) → Sintern (1350–1450 °C, 10^{-4} – 10^{-5} Pa) → Abkühlen (1015 °C/min).

Porosität: $<0,01$ % (A02B00), YG8-Dichte 14.514,65 g/cm³.

Anwendung: Bergbaubohrer, Formen, mittlere Porosität.

Heißisostatisches Pressen (HIP):

Verfahren: Sintern (1350–1450 °C, 100–150 MPa, Argon) → Nachbehandeln (1300–1350 °C, 80–100 MPa) → Abkühlen (1520 °C/min).

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Porosität: <0,001 % (A00B00), YG6X-Dichte 14.814,9 g/cm³.

Anwendung: Luftfahrtmesser, Tiefseerobben, Hochleistung.

Atmosphärensintern:

Prozess: Entwachsen (200–1400 °C, H₂ 2050 l/min) → Sintern (1300–1400 °C, H₂/ Ar) → Kühlen (510 °C/min).

Porosität: <0,02 % (A04B02), YN10-Dichte 14,414,5 g/cm³.

Anwendung: Chemische Dichtungen, Picks, niedrige Kosten.

5. Porositätsleistungsdaten

Sintertyp	Marke	Porosität (%)	GB/T 5169 Klasse	Dichte (g/cm ³)	Härte (HV)	Festigkeit (GPa)	Typische Anwendungen
Vakuumsintern	YG8	<0,01	A02B00C00	14.514.65	14001800	1.82.3	Bergbaubohrer
HIP-Sintern	YG6X	<0,001	A00B00C00	14.814.9	18002200	2.22.8	Luftfahrtwerkzeuge
Atmosphärensintern	YN10	<0,02	A04B02C00	14.414.5	14001600	1.82.2	Druckmittler

Beispiele:

Vakuumsintern: YG8-Bohrer (Ø 20 × 330 mm), 1450°C, 10⁻⁴ Pa, 12 Stunden, Porosität <0,01 %, Dichte 14,6 g/cm³, Härte 1400 HV.

HIP-Sintern: YG6X-Werkzeug (Ø 12 × 80 mm), 1400°C, 120 MPa, 4 Stunden, Porosität <0,001 %, Dichte 14,9 g/cm³, Festigkeit 2,3 GPa.

Atmosphärensintern: YN10-Dichtung (Ø 50 mm), 1350 °C, H₂ 30 l/min, 12 Stunden, Porosität <0,02 %, Dichte 14,5 g/cm³, ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit.

6. Empfehlungen zur Porositätsoptimierung

Pulveroptimierung:

Sie feinkörniges WC (0,51,5 µm), und die Porosität wird um 50 % reduziert.

Durch eine Verlängerung der Kugelmahlzeit (1624 Stunden) wurde die Gleichmäßigkeit um 10 % erhöht und die Porosität um 0,1 % verringert.

Kontrollieren Sie das Bindemittel (PEG /Paraffin <1,5 Gew.- %) und den Restkohlenstoff <0,05 %.

Pressvorgang:

Durch Erhöhung des Drucks (250–300 MPa) erhöhte sich die Dichte des Rohlings um 510 % und die Porosität verringerte sich um 0,1 %.

Optimieren Sie die Form, reduzieren Sie Risse und verringern Sie die Porosität um 0,2 %.

Sinterprozess:

Temperatur: 1400–1450 °C (YG8/YG6X), Porosität nimmt um 0,01–0,02 % ab.

Atmosphäre: H₂-Reinheit >99,999 %, O₂ <5 ppm, Porosität um 0,02 % reduziert.

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

Geräteoptimierung:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Temperaturkontrolle (± 3 °C), Porositätsabweichung $< \pm 0,005$ %.

Vakuum (10^{-5} Pa), vollständiges Entwachsen, Porosität auf 0,02 % reduziert.

Durch die Verwendung von Heizelementen aus Molybdän/Wolfram wird die Verunreinigung um 30 % und die Porosität um 0,01 % reduziert.

Nachbearbeitung:

Nach der HIP-Behandlung (1300 °C, 100 MPa) wurde die Porosität auf $< 0,001$ % reduziert.

Durch Polieren ($R_a < 0,2$ μm) wird die Oberflächenporosität verringert und die Korrosionsbeständigkeit um 20 % erhöht.

7. Normen

GB/T 51692013: Porositätsgrad A02B00C00 (Hochleistung), A04B02C00 (allgemein).

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

GB/T 38502015: Dichtemessung, Abweichung $< \pm 0,1$ g/cm³.

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

GB/T 7997-2017: Härte 1400–2200 HV.

8. Fazit

Die Porosität von Hartmetall ist der wichtigste Indikator für die Sinterqualität und beeinflusst Dichte, Härte, Festigkeit und Haltbarkeit. Geringe Porosität ($< 0,001$ %) wird durch optimierte Pulver-, Press- und Sinterprozesse (z. B. HIP 1350 °C, 120 MPa) erreicht und eignet sich für Luftfahrtwerkzeuge und Tiefseedichtungen. Mittlere Porosität ($< 0,02$ %) erfüllt die Anforderungen von Bergbaupickeln usw. Vakuumsintern ($< 0,01$ %), HIP ($< 0,001$ %) und Atmosphärensintern ($< 0,02$ %) eignen sich für verschiedene Szenarien, wobei das Verfahren je nach Anwendung ausgewählt werden muss.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

Korrosionsbeständigkeit und Bewertung von Hartmetall

Hartmetall (wie WC+ Co , WC+ Ni) wird aufgrund seiner hohen Härte (1400–2200 HV), hohen Festigkeit (1,8–2,8 GPa) und hervorragenden Verschleißfestigkeit häufig in Bergbauwerkzeugen, Flugzeugwerkzeugen, Tiefseedichtungen und Chemiepumpen eingesetzt . In korrosiven Umgebungen (wie Säuren, Laugen, Salzlösungen, H₂S, CO₂, Meerwasser) ist die Korrosionsbeständigkeit von Hartmetall jedoch ein entscheidender Leistungsindikator, der sich direkt auf seine Lebensdauer und Zuverlässigkeit auswirkt. Die Korrosionsbeständigkeit wird hauptsächlich durch Materialzusammensetzung, Mikrostruktur (z. B. Porosität <0,01 %), Sinterprozess und Oberflächenbehandlung bestimmt und muss nationalen Normen (wie GB/T 18376–2014, NACE MR0175) entsprechen.

In Kombination mit Branchenpraktiken stellt dieser Artikel detailliert den Korrosionsbeständigkeitsmechanismus, die Einflussfaktoren, Bewertungsmethoden und Optimierungsmaßnahmen von Hartmetall vor und empfiehlt entsprechend die Produktionskapazitäten der CTIA GROUP LTD in den Bereichen korrosionsbeständiger Dichtungen, Pumpenkörper usw. aus nickelbasiertem Hartmetall.

1. Definition der Korrosionsbeständigkeit von Hartmetall

Die Korrosionsbeständigkeit von Hartmetall bezeichnet die Fähigkeit des Materials, chemischer oder elektrochemischer Erosion in korrosiven Medien (wie Säuren, Laugen, Salzlösungen, H₂S, CO₂, Meerwasser) zu widerstehen. Sie wird üblicherweise als Korrosionsrate (mm/Jahr), Massenverlust (mg/cm² · h) oder Veränderung der Oberflächenmorphologie ausgedrückt.

Konforme Standards:

NACE MR0175: Beständig gegen H₂S/CO₂-Korrosion, geeignet für Öl- und Gasumgebungen.

ISO 12944: Beständigkeit gegenüber korrosiven Meeres-/Industrieumgebungen.

GB/T 183762014: Porosität <0,01 %, gewährleistet Korrosionsbeständigkeit.

Korrosionsmechanismus der Korrosionsbeständigkeit von Hartmetall

Elektrochemische Korrosion: Hartmetall besteht aus einer Hartphase (WC, korrosionsbeständig) und einer Bindephase (Co/Ni, korrodierbar). In einem Elektrolyten (z. B. Meerwasser, Säurelösung) bildet es eine Mikrobatterie . Die Bindephase korrodiert bevorzugt, wodurch sich die WC-Partikel ablösen.

Beispiel: Die Auflösungsrate von Co in HCl beträgt >0,1 mm/Jahr, während die von Ni nur 0,01–0,05 mm/Jahr beträgt.

Chemische Korrosion: Starke Säuren (wie H₂SO₄) und starke Basen (wie NaOH) lösen die Bindungsphase direkt auf, und Materialien mit hoher Porosität (>0,1 %) beschleunigen die Korrosion.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Synergie zwischen Erosion und Korrosion: In Flüssigkeiten, die Partikel enthalten (wie etwa Chemiepumpen), werden durch Verschleiß neue Oberflächen freigelegt, was die elektrochemische Korrosion beschleunigt und die Korrosionsrate um 2050 % erhöht.

Korrosionsbeständigkeit:

Ausgezeichnet: Die Korrosionsrate von WC+Ni (Ni 815 %) in H₂S (>1000 ppm), Meerwasser (pH 39) und H₂SO₄ (50 %) beträgt <0,01 mm/Jahr.

Mittel: Die Korrosionsrate von WC+Co (Co 612 %) in HCl (30 %) beträgt 0,050,1 mm/Jahr.

Schlecht: Materialien mit einer Porosität > 0,1 % oder einem hohen Co-Gehalt (> 15 %) weisen in starker Säure eine Korrosionsrate von > 0,2 mm/Jahr auf.

2. Faktoren, die die Korrosionsbeständigkeit von Hartmetall beeinflussen

Materialzusammensetzung:

Bindungsphase:

Auf Ni-Basis: Ni (815 %) ist widerstandsfähiger gegen H₂S-, CO₂- und Meerwasserkorrosion als Co, und die Korrosionsrate wird um 5070 % reduziert (NACE MR0175).

Auf Co-Basis: Co (612 %) ist in sauren Umgebungen (HCl, H₂SO₄) leicht löslich und die Korrosionsrate erhöht sich um das 25- fache.

Zusatzstoff:

Cr₃C₂ (0,52 Gew.- %): bildet einen Cr-Oxidfilm und erhöht die Säurebeständigkeit um 20–30 %.

Mo (0,51 Gew.- %): Verbessert die Beständigkeit gegen Lochkorrosion und erhöht die Cl⁻-Korrosionsbeständigkeit um 25 %.

WC-Korngröße: Feine Körner (0,52 μ m) verringern die Freilegung der Bindephase und erhöhen die Korrosionsbeständigkeit um 1015 %, grobe Körner (> 5 μ m) verlängern den Korrosionsweg.

Mikrostruktur:

Porosität (GB/T 5169-2013):

Geringe Porosität (<0,001 %, HIP-Sintern): reduziert das Eindringen korrosiver Medien und erhöht die Korrosionsbeständigkeit um 3050 %.

Hohe Porosität (>0,1 %, Sintern in der Atmosphäre): Porosität beschleunigt die elektrochemische Korrosion und erhöht die Korrosionsrate um das 23- fache.

Korngrenze: Gleichmäßige Korngrenze (Kugelmahlen für 1624 Stunden) reduziert lokale Korrosion und erhöht die Korrosionsbeständigkeit um 10 %.

Restkohlenstoff: Restkohlenstoff <0,05 % (gründliches Entwachsen), verhindert das Auflösen von Karbid und erhöht die Korrosionsbeständigkeit um 510 %.

Sinterprozess:

Vakuumsintern (1350–1450 °C, 10⁻⁴–10⁻⁵ Pa): Porosität <0,01 %, gleichmäßige Verteilung der Bindephase, mittlere Korrosionsbeständigkeit.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

HIP-Sintern (1350–1450 °C, 100–150 MPa): Porosität <0,001 %, Dichte >99,9 %, ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit.

Atmosphärenintern (1300–1400 °C, H₂/ Ar , O₂ <5 ppm): Porosität <0,02 %, geeignet für Ni-basierte Legierungen, mit etwas geringerer Korrosionsbeständigkeit.

Entparaffinierung: Vakuum + H₂ (10⁻² Pa, 515 L/min), Restkohlenstoff <0,05 %, Korrosionsbeständigkeit um 10 % erhöht.

Oberflächenbehandlung:

Polieren (Ra <0,2 µm) : Reduziert Oberflächendefekte und erhöht die Korrosionsbeständigkeit um 1520 % .

Beschichtung:

Ni/Cr-Galvanisierung: Säurebeständigkeit um 20 % erhöht, Cl⁻-Korrosionsbeständigkeit um 30 % erhöht.

PTFE/DLC-Beschichtung: Reibungskoeffizient um 20 % reduziert, Erosions- und Korrosionsbeständigkeit um 30–50 % erhöht.

Passivierung: Es bildet sich ein Oxidfilm, der die Lochkorrosionsbeständigkeit um 25 % erhöht.

Nutzungsumgebung:

Medium: H₂SO₄ (50 %) Korrosionsrate <0,01 mm/Jahr (Ni-basiert); HCl (30 %) Korrosionsrate 0,050,1 mm/Jahr (Co-basiert).

Temperatur: 50300 °C, die Korrosionsrate erhöht sich bei jeder Temperaturerhöhung um 50 °C um 1020 %.

Flüssigkeitserosion: Flüssigkeiten mit Partikeln (Feststoffe < 20 %) beschleunigen die Korrosion und erhöhen die Rate um 2050 %.

3. Bewertungsmethode der Korrosionsbeständigkeit von Hartmetall

Labortests:

Immersionstest (ASTM G31):

Durchführung: Die Probe wird für einen Zeitraum von 24720 Stunden in ein korrosives Medium (z. B. H₂SO₄, HCl, NaCl) bei konstanter Temperatur (2580 °C) getaucht.

Indikatoren: Massenverlust (mg/cm² · h) , Korrosionsrate (mm/Jahr).

Beispiel: Die Korrosionsrate von WC+10 %Ni in 50 % H₂SO₄ (80 °C) beträgt <0,01 mm/Jahr.

Elektrochemische Prüfung (ASTM G59/G61):

Vorgehensweise: Verwenden Sie eine elektrochemische Arbeitsstation, um das Leerlaufpotential (OCP), die Polarisationskurve, das Korrosionspotential (E_{corr}) und die Stromdichte (I_{corr}) zu messen.

Index: I_{corr} <1 µA /cm² zeigt eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit an.

Beispiel: WC+Ni in 3,5% NaCl, I_{corr} ≈ 0,5 µA / cm² , besser als WC+Co (2 µA / cm²) .

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Salzsprühtest (ASTM B117):

Verfahren: Die Proben wurden 961.000 Stunden lang einer 5 %igen NaCl-Zerstäubung (35 °C) ausgesetzt.

Indikatoren: Anzahl der Oberflächenkorrosionspunkte, Gewichtsverluste.

Beispiel: WC+Ni+Cr3C2 weist nach 1000 Stunden keine offensichtlichen Korrosionsflecken auf.

Feldtest:

Umweltbelastung: Hartmetallkomponenten (wie Dichtungen und Pumpenkörper) werden unter realen Arbeitsbedingungen (wie Tiefsee und Chemieanlagen) eingesetzt und 6–12 Monate lang betrieben.

Indikatoren: Oberflächenmorphologie (SEM-Beobachtung), Maßänderung ($\pm 0,01$ mm), Leistungsminderung (z. B. Härteabnahme < 5 %).

Beispiel: WC+Ni -Dichtungen, die 12 Monate lang in Meerwasser (pH 8, 15.000 psi) betrieben wurden, mit einer Korrosionstiefe von $< 0,005$ mm.

Mikroskopische Analyse:

SEM/EDS: Beobachten Sie die Korrosionsmorphologie und Elementverteilung und stellen Sie fest, ob die Bindungsphase aufgelöst ist oder WC abblättert.

XPS: Analysieren Sie den Oxidfilm auf der Oberfläche und bewerten Sie den Korrosionsbeständigkeitsmechanismus.

Beispiel: WC+Ni bildet in H₂S einen NiS- Schutzfilm , die Korrosionsbeständigkeit erhöht sich um 20 %.

Standardauswertung:

cm² in H₂S-Umgebung (> 1000 ppm) .

GB/T 183762014: Porosität $< 0,01$ %, keine Poren vom Typ B/C (A02B00C00).

ISO 12944: C5M Korrosionsrate in Meeresumwelt $< 0,01$ mm/Jahr.

4. Leistungsdaten zur Korrosionsbeständigkeit

Marke	Bindungsphase	Umfeld	Korrosionsrate (mm/Jahr)	I _{corr} (μ A / cm ²)	Porosität (%)	Typische Anwendungen
YG8	Co (8%)	HCl (30%)	0,050,1	25	$< 0,01$	Bergbaubohrer
YG6X	Co (6 %) + Cr ₃ C ₂	H ₂ SO ₄ (50 %)	0,020,05	12	$< 0,001$	Luftfahrtwerkzeuge
YN10	Ni (10%)	Meerwasser (pH 8)	$< 0,01$	0,51	$< 0,01$	Tiefseerobben
YN12+Mo	Ni (12 %) + Mo	H ₂ S (1000 ppm)	$< 0,005$	0,30,5	$< 0,001$	Körper der Chemiepumpe

Beispiele:

YG8 (vakuumgesintert): Bergbaubohrer, HCl (30 %, 80 °C), Einweichen für 720 Stunden, Korrosionsrate 0,08 mm/Jahr, Porosität $< 0,01$ %, Härteabfall < 5 %.

YG6X (HIP-Sintern): Luftfahrtwerkzeuge, H₂SO₄-Test (50 %, 60 °C), Korrosionsrate 0,03 mm/Jahr, I_{corr} 1,5 μ A / cm², Porosität $< 0,001$ %.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

YN10 (HIP-Sintern): Tiefseedichtungen, Meerwasser (15.000 psi, 12 Monate), Korrosionstiefe <0,005 mm, Porosität <0,001 %, ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit.

YN12+Mo (HIP-Sintern): Chemischer Pumpenkörper, H₂S (1000 ppm, 200 °C), Korrosionsrate <0,005 mm/Jahr, keine Lochfraßbildung auf der Oberfläche.

5. Vorschläge zur Optimierung der Korrosionsbeständigkeit

Material:

Bindungsphase: Ni (1015 %) wird bevorzugt, und die H₂S-/Meerwasserkorrosionsbeständigkeit erhöht sich um 5070 %.

Zusätze: Cr₃C₂ (0,52 Gew. %) + Mo (0,51 Gew. %), Säurebeständigkeit um 20–30 % erhöht.

- Korngröße: Feinkorn (0,51,5 µm), verringert die Freilegung der Bindungsphase und erhöht die Korrosionsbeständigkeit um 15 %.

Sinterprozess:

HIP-Sintern: 1350 °C, 120 MPa, 2 Stunden, Porosität <0,001 %, Korrosionsbeständigkeit um 30 % erhöht.

Entparaffinierung: Vakuum (10⁻² Pa) + H₂ (10 L/min), Restkohlenstoff <0,05 %, Korrosionsbeständigkeit um 10 % erhöht.

Atmosphäre: H₂-Reinheit >99,999 %, O₂ <5 ppm, verhindert Oxidation, erhöht die Korrosionsbeständigkeit um 10 %.

Oberflächenbehandlung:

Polieren (Ra <0,2 µm): Reduziert den Korrosionsansatzpunkt und erhöht die Korrosionsbeständigkeit um 1520 %.

Beschichtung: Ni/Cr-Galvanisierung oder PTFE/DLC, Erosions- und Korrosionsbeständigkeit um 3050 % erhöht.

Passivierung: Die Bildung eines Cr/Ni-Oxidfilms erhöht die Lochkorrosionsbeständigkeit um 25 %.

Geräteoptimierung:

Temperaturregelung: ±3 °C, Gleichmäßigkeit ±5 °C, Porositätsabweichung <±0,005 %, Korrosionsbeständigkeit um 5 % erhöht.

Vakuumgrad: 10⁻⁵ Pa, vollständige Entwachsung, Korrosionsbeständigkeit um 10 % erhöht.

Molybdän-/Wolframkomponenten: Die Verschmutzung wird um 30 % reduziert und die Korrosionsbeständigkeit um 5 % erhöht.

Anpassung an die Umwelt:

Saure Umgebung: Wählen Sie YN10+Cr₃C₂, das gegen H₂SO₄/HCl-Korrosion beständig ist.

Ozean/Öl und Gas: Verwenden Sie YN12+Mo, beständig gegen H₂S/CO₂/Meerwasser.

Partikelhaltige Flüssigkeiten: DLC-Beschichtung, Erosions- und Korrosionsbeständigkeit um 30 % erhöht.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Normen

GB/T 183762014: Porosität $<0,01$ %, Gleichmäßigkeit >95 %.
GB/T 51692013: Porositätsgrad A02B00C00 (Hochleistung), A04B02C00 (allgemein).
GB/T 38502015: Dichteabweichung $<\pm 0,1$ g/cm³ .
GB/T 38512015: Biegefestigkeit 1,82,8 GPa .
GB/T 7997-2017 : Härte 1400–2200 HV.
NACE MR0175: Massenverlust in H₂S/CO₂-Umgebung $<0,1$ mg/cm² .
ISO 12944: Korrosionsrate in C5M-Umgebung $<0,01$ mm/Jahr.
ASTM G31/G59: Korrosionsrate $<0,01$ mm/Jahr, Icorr <1 μ A / cm².

7. Fazit

Die Korrosionsbeständigkeit von Hartmetall wird durch die Bindungsphase (Ni ist besser als Co), die Porosität ($<0,001$ % ist optimal), den Sinterprozess (HIP ist besser als Vakuum/Atmosphäre) und die Oberflächenbehandlung bestimmt. Ni-basiertes Hartmetall (YN10/YN12) weist eine gute Korrosionsbeständigkeit in Meerwasser, H₂S und sauren Umgebungen auf und weist eine Korrosionsrate von $<0,01$ mm/Jahr auf. Es eignet sich für Tiefseedichtungen und chemische Pumpengehäuse. Co-basierte Legierungen (YG8/YG6X) eignen sich für mäßig korrosive Umgebungen. Zu den Bewertungsmethoden gehören Tauchtests (ASTM G31), elektrochemische Tests (ASTM G59) und Feldexposition, die in Kombination mit Normen (wie NACE MR0175) umfassend bewertet werden müssen. Optimierte Prozesse (wie HIP 1350 °C, 120 MPa) und Oberflächenbeschichtungen (PTFE/DLC) können die Korrosionsbeständigkeit deutlich verbessern.

8. Besondere Empfehlung

CTIA GROUP LTD verwendet HIP-Sintern und fortschrittliche Beschichtungstechnologie bei der Herstellung korrosionsbeständiger Dichtungen, Pumpenkörper und Ventile aus nickelbasiertem Hartmetall, um hochkorrosionsbeständige Lösungen bereitzustellen, die den Anforderungen rauer Umgebungen wie der Tiefsee- und Chemieindustrie gerecht werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anhang:

Gesintertes und poliertes Hartmetall

Hartmetall (wie WC+ Co , WC+ Ni) wird aufgrund seiner hohen Härte (1400–2200 HV), hohen Festigkeit (1,8–2,8 GPa) und hervorragenden Verschleißfestigkeit häufig in Bergbauwerkzeugen, Luftfahrtwerkzeugen, Tiefseedichtungen und chemischen Pumpengehäusen verwendet . Die Leistung von Hartmetall hängt nicht nur vom Sinterzustand ab, der durch den Sinterprozess entsteht , sondern auch vom anschließenden Polieren. Der Sinterzustand bestimmt die intrinsischen Eigenschaften des Materials (wie Dichte, Porosität, Mikrostruktur), während der Polierprozess die Oberflächenqualität (wie Rauheit Ra < 0,2 µm) optimiert und so die Korrosionsbeständigkeit, Verschleißfestigkeit und Dichtungsleistung verbessert.

Dieser Artikel kombiniert nationale Standards (wie GB/T 183762014, GB/T 51692013) und Branchenpraktiken, um den Prozess, die Auswirkungen auf die Leistung und die Optimierungsmaßnahmen der Sinter- und Polierbehandlung von Hartmetall im Detail vorzustellen und empfiehlt entsprechend die Produktionskapazitäten der CTIA GROUP LTD in den Bereichen nickelbasierter Hartmetalldichtungen, Pumpenkörper usw.

1. Gesintertes Hartmetall

2.

Der gesinterte Zustand bezeichnet den Zustand von Hartmetall nach dem Hochtemperaturesintern (1350–1500 °C) ohne anschließende mechanische Bearbeitung. Es weist eine spezifische Mikrostruktur und Eigenschaften auf und eignet sich für die direkte Verwendung oder Weiterverarbeitung (z. B. Polieren).

1.1 Sinterprozess und Parameter

Vakuumsintern :

Anwendung : Herstellung von Bergbaupickeln, Formen , Dichtungen (z. B. Ø 5150 mm).

Verfahren :

Entparaffinierung: 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) bis 100 °C.

Eigenschaften : Dichte 14,514,9 g/ cm³, Porosität <0,01 % (A02B00C00, GB / T 5169-2013), Härte 1400–1800 HV, Oberflächenrauheit Ra 1,63,2 µm .

Heißisostatisches Pressen (HIP) :

Anwendung : Luftfahrtwerkzeuge, Tiefseedichtungen, chemische Pumpenkörper (z. B. Ø 100–500 mm).

Verfahren :

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

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), Porosität <0,001 % (A00B00C00), Härte 1800–2200 HV, Oberflächenrauheit Ra 0,81,6 µm .

Atmosphärensintern :

Anwendung : Große Mengen an Picks, Dichtungen (z. B. Gleitringdichtungsringe).

Verfahren :

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 14.414,8 g/ cm³, Porosität <0,02 % (A04B02C00), Härte 1400–1600 HV, Oberflächenrauheit Ra 2,04,0 µm .

1.2 Sintereigenschaften

Mikrostruktur :

WC- Körner : Feinkörner (0,52 µ m , HIP) oder mittelgrobe Körner (25 µ m , Atmosphärensintern), gleichmäßige Korngrenzen (Kugelmahlen für 1624 Stunden).

Bindungsphase : Co/Ni (615 %), gleichmäßig verteilt, die Korrosionsbeständigkeit auf Ni-Basis ist besser als bei Co (NACE MR0175) .

Porosität : HIP <0,001 % , Vakuum <0,01 % , Atmosphäre <0,02 % , geringe Porosität erhöht die Festigkeit um 1020 %.

Leistung :

Dichte : 14.415,0 g/cm³ (GB /T 38502015), Abweichung ±0,05 g/cm³ .

Härte : 1400–2200 HV (GB/T 7997–2017), Abweichung ±3050 HV.

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

Korrosionsbeständigkeit : Die Korrosionsrate auf Ni-Basis (YN10) in Meerwasser/H₂S beträgt <0,01 mm/Jahr; die Korrosionsrate auf Co-Basis (YG8) in HCl beträgt 0,050,1 mm/Jahr .

Oberfläche : Die gesinterte Oberfläche ist rau (Ra 0,84,0 µ m) , mit Mikroporen/Sinterspuren und mittlerer Verschleißfestigkeit.

Einschränkungen :

Eine hohe Oberflächenrauheit (Ra > 0,8 µ m) kann leicht zu Spannungskonzentrationen führen und die Korrosionsbeständigkeit um 10–20 % verringern.

Mikroporen (>0,001 %) können die Korrosion beschleunigen und die Dichtungsleistung beeinträchtigen (Leckrate >10⁻⁶ mbar·L /s).

1.3 Sinteranwendung

Direkte Verwendung : Bergbaupickel, Formen, geringe Anforderungen an die Oberflächenrauheit

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

(Ra 1,64,0 μm) .

Poliert werden müssen : Tiefseedichtungen, Chemiepumpengehäuse, Gleitringdichtungen, Ra <0,2 μm , Korrosionsbeständigkeit um 1520 % erhöht.

2. Hartmetallpolieren

Polieren ist die mechanische Bearbeitung (z. B. Schleifen und Polieren) von gesintertem Hartmetall, um die Oberflächenrauheit (Ra < 0,2 μm) zu verringern , Oberflächenfehler zu beseitigen und die Korrosions- und Verschleißfestigkeit zu verbessern. Es eignet sich besonders für hochpräzise Dichtungen, Werkzeuge und Pumpenkörper.

2.1 Polierprozess und Parameter

Grobmahlung :

Werkzeuge : Diamantschleifscheibe (Körnung 100-200 μm , Kunstharz-/Keramikbindung).

Parameter :

Drehzahl: 1000–2000 U/min.

Vorschubgeschwindigkeit: 0,01–0,05 mm/Durchgang.

Kühlmittel: Emulsion auf Wasserbasis, Durchflussrate 510 l/min.

Wirkung : Die gesinterten Oberflächenmarkierungen (Ra 4,00,8 μm) werden entfernt und die Rauheit wird auf Ra 0,40,8 μm reduziert .

Zeit : 510 Minuten pro Quadratzentimeter.

Feinmahlen :

Werkzeuge : Diamantschleifscheibe (Körnung 2050 μm , Metallbindung).

Parameter :

Drehzahl: 1500–3000 U/min.

Vorschubgeschwindigkeit: 0,0050,01 mm/Durchgang.

Kühlmittel: Auf Öl- oder Wasserbasis, Durchflussrate 815 l/min.

Wirkung : Die Rauheit wird auf Ra 0,20,4 μm reduziert und die Oberflächenebenheit beträgt <0,005 mm.

Zeit : 1015 Minuten pro Quadratzentimeter.

Polieren :

Werkzeuge : Diamantpolierpaste (Partikelgröße 15 μm) + Filz-/Polyurethan-Polierscheibe.

Parameter :

Drehzahl: 500–1000 U/min.

Druck: 0,10,5 MPa.

Polierflüssigkeit: auf Wasser- oder Alkoholbasis, Durchflussrate 25 l/min.

Wirkung : Die Rauheit wird auf Ra <0,2 μm (Spiegeloberfläche) reduziert , die Oberfläche ist kratzfrei und die Ebenheit beträgt <0,002 mm.

Zeit : 1530 Minuten pro Quadratzentimeter.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Ultrapräzises Polieren (optional) :

Werkzeuge : Nanoskalige Diamantsuspension (Partikelgröße 0,10,5 μm) + weiches Polierpad.

Parameter :

Drehzahl: 200500 U/min.

Druck: 0,050,2 MPa.

Polierflüssigkeit: deionisiertes Wasser, Durchflussrate 13 l/min.

Wirkung : Rauheit Ra <0,05 μm , geeignet für hochpräzise Dichtungen (z. B. Leckrate <10⁻⁶ mbar·L /s).

Zeit : 3060 Minuten pro Quadratzentimeter.

2.2 Poliereigenschaften

Oberflächenqualität :

Rauheit : Ra 0,050,2 μm (nach dem Polieren), verglichen mit dem gesinterten Zustand (Ra 0,84,0 μm) , ist sie um 80 – 95 % reduziert.

Ebenheit : <0,002 mm, geeignet für hochpräzise Dichtflächen.

Defekte : Entfernen Sie gesinterte Mikroporen/Risse und reduzieren Sie die Oberflächenspannungskonzentration um 50 %.

Leistungsverbesserungen :

Korrosionsbeständigkeit : Reduziert Korrosionsansatzpunkte (wie Mikroporen) und verringert die Korrosionsrate in Meerwasser/H₂SO₄ um 1520 % (ASTM G31) .

Verschleißfestigkeit : Reibungskoeffizient um 20–30 % reduziert (nach PTFE/DLC-Beschichtung um 50 % erhöht), Verschleißverlust <0,05 mm³/h (ASTM G65) .

Dichtungsleistung : Leckrate <10⁻⁶ mbar·L /s (Heliumtest, 15.000 psi), dynamische Dichtungslebensdauer um 3050 % erhöht .

Ermüdungslebensdauer : Die Oberflächenspannung ist gleichmäßig und die Ermüdungsbruchfestigkeit erhöht sich um 20–30 %.

Einschränkungen :

Hohe Kosten: Das Polieren kostet 520 Yuan pro Quadratzentimeter und das Ultrapräzisionspolieren kostet 2050 Yuan.

Verarbeitungsschwierigkeiten: Hartmetall hat eine hohe Härte (> 1400 HV), erfordert Diamantwerkzeuge und hat eine geringe Verarbeitungseffizienz (0,10,5 mm³/min).

Thermische Einflüsse: Übermäßiges Schleifen kann Mikrorisse verursachen und die Korrosionsbeständigkeit um 510 % reduzieren.

2.3 Polieranwendung

Tiefseerobben

O-Ring (Ø 5200 mm), Ra <0,2 μm , beständig gegen H₂S/Seewasser, Lebensdauer >1000 Verbindungen.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Körper der Chemiepumpe

Gleitringdichtung (Ø 10150 mm), Ra <0,1 µ m , beständig gegen H2SO4 (50%), Lebensdauer >5000 Stunden.

Luftfahrtwerkzeuge

Schneidkante (Ra <0,05 µ m) , Verschleißfestigkeit um 30 % erhöht, Schneidlebensdauer um 20 % erhöht.

3. Vergleich zwischen gesintert und poliert

Merkmal	Gesintert	Polieren
Oberflächenrauheit (Ra)	0,84,0 µm	<0,050,2 µm
Porosität	<0,001 %0,02 % (HIP/Atmosphäre)	Keine Veränderung, Oberflächenmikroporen reduziert
Korrosionsbeständigkeit	Mittel (Meerwasser <0,01 mm/Jahr, Ni-basiert)	Erhöht um 1520 % (Korrosionsrate verringert)
Verschleißfestigkeit	Verschleißrate 0,10,2 mm³/h	Erhöhung um 2050 % (Verschleißverlust <0,05 mm³/h)
Dichtungsleistung	Leckrate > 10 ⁻⁶ mbar·L/s	<10 ⁻⁶ mbar·L/s
kosten	Niedrig (Sintern 0,52 kWh/kg)	Hoch (Polieren 550 Yuan/cm²)
Anwendung	Picks, Matrizen	Dichtungen, Pumpenkörper, Schneidwerkzeuge

Beispiele :

Gesintertes Zustand : YG8-Meißel (Ø 20 × 330 mm), vakuumgesintert (1450 °C, 10⁻⁴ Pa), Ra 2,0 µ m , Porosität <0,01 % , HCl (30 %) Korrosionsbeständigkeit 0,08 mm/Jahr, für den Bergbau geeignet.

Polierbehandlung : YN10-Dichtung (Ø 50 mm), HIP-Sintern (1400 °C, 120 MPa) + Polieren (Ra <0,1 µ m) , Porosität <0,001 % , Meerwasserkorrosionsrate <0,005 mm/Jahr, Leckrate <10⁻⁶ mbar·L/s, geeignet für Tiefsee.

4. Optimierungsvorschläge für Sintern und Polieren

Optimierung des Sinterzustands :

Pulver : feinkörniges WC (0,5–1,5 µ m) , Porosität um 50 % reduziert, Korrosionsbeständigkeit um 10 % erhöht.

Pressen : Kaltisostatisches Pressen (250–300 MPa), die Dichte des Rohlings erhöht sich um 5–10 % , und die Sinterschrumpfung ist gleichmäßig.

Sintern :

HIP (1350 °C, 120 MPa, 2 h): Porosität <0,001 % , Dichte >99,9 % .

Vakuum (10⁻⁵ Pa, H2 O2 <5 ppm): Restkohlenstoff <0,05 % , Korrosionsbeständigkeit um 10 % erhöht.

Temperaturregelung : ±3°C, Gleichmäßigkeit ± 5 °C, Dichteabweichung <±0,05 g/cm³ .

Optimierung des Polierprozesses :

Werkzeuge : Verwenden Sie hochkonzentrierte Diamantpolierpaste (15 µ m) , um die Polierleistung

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

um 20 % zu erhöhen.

Parameter : niedriger Druck (0,1–0,5 MPa) + niedrige Geschwindigkeit (500–1000 U/min), um Mikrorisse zu vermeiden.

Kühlung : Polierflüssigkeit auf Wasserbasis (Durchflussrate 510 l/min), Reduzierung der thermischen Belastung um 30 %.

Nachbehandlung : PTFE/DLC- **Beschichtung** , Reibungskoeffizient um 20 % reduziert, Erosions- und Korrosionsbeständigkeit um 30–50 % erhöht.

Wartung der Ausrüstung :

Sinterofen : Heizelemente aus Molybdän/Wolfram werden alle 4000 Stunden gewartet, die Verschmutzung wird um 30 % und die Porosität um 0,01 % reduziert.

Poliermaschine : Kalibrieren Sie die Spindel regelmäßig (Abweichung <0,01 mm), und die Ebenheit **verbessert** sich um 10 %.

Prozessintegration :

Sintern + Polieren : HIP - Sintern (Porosität <0,001 %) + Ultrapräzisionspolieren (Ra <0,05 µm) , Korrosionsbeständigkeit um 20 % erhöht, Dichtungsleistung um 50 % erhöht.

Qualitätskontrolle : SEM-Beobachtung von Oberflächendefekten, Rauheitsmessgerät (Genauigkeit ±0,01 µm) , **um** Ra < 0,2 µm sicherzustellen .

5. Normen

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

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

GB/T 38502015 : Dichteabweichung <±0,1 g/cm³ .

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

GB/T 7997-2017 : Härte 1400–2200 HV.

NACE MR 0175 : H₂S/CO₂-beständig, Korrosionsrate <0,01 mm/Jahr.

ISO 4287 : Oberflächenrauheit Ra <0,2 µm (poliert).

6. Fazit

Das gesinterte Hartmetall bildet durch Vakuum-, HIP- oder Atmosphärensintern eine Mikrostruktur mit hoher Dichte (> 99 %) und geringer Porosität (< 0,001 %) und legt damit den Grundstein für Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Es eignet sich für Anwendungen mit rauen Oberflächen, wie z. B. Bergbaupickel. Durch Polieren wird die Oberflächenrauheit auf Ra < 0,2 µm verringert , wodurch Korrosionsbeständigkeit (Steigerung um 1520 %), Verschleißfestigkeit (Steigerung um 2050 %) und Dichtungsleistung (Leckagerate < 10⁻⁶ mbar·L/s) deutlich verbessert werden. Das Produkt eignet sich für Tiefseedichtungen, chemische Pumpengehäuse und Werkzeuge für die Luftfahrt. Durch Optimierung des Sinterprozesses (z. B. HIP 1350 °C, 120 MPa) und der Polierparameter (z. B. Niederdruckpolieren) kann die Leistung weiter verbessert werden.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Empfehlung : CTIA GROUP LTD verwendet bei der Herstellung von nickelbasierten Hartmetalldichtungen, Pumpenkörpern und Ventilen die HIP-Sinter- und Ultrapräzisionspoliertechnologie ($Ra < 0,1 \mu m$), um eine hervorragende Korrosionsbeständigkeit und Dichtungsleistung zu gewährleisten und so den Anforderungen rauer Umgebungen wie der Tiefsee und der chemischen Industrie gerecht zu werden.

Anhang:

Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen CIP und HIP beim Pressen und Sintern von Hartmetall

1. Hintergrund der Hartmetallherstellung

Hartmetall (WC-Co) basiert auf Wolframkarbid (WC) und Kobalt (Co) als Bindephase. Es verfügt über eine hohe Härte (HV 1000–1800), hohe Verschleißfestigkeit und ausgezeichnete Hochtemperaturbeständigkeit. Es wird häufig für Schneidwerkzeuge, Bergbaupickel und militärische Komponenten (wie panzerbrechende Geschosse) verwendet. Der Herstellungsprozess umfasst Pulveraufbereitung, Pressen, Sintern und Nachbearbeitung, wobei Pressen und Sintern die wichtigsten Schritte zur Bestimmung von Dichte, Mikrostruktur und Leistung des Materials sind. Kaltisostatisches Pressen (CIP) und Heißisostatisches Pressen (HIP) sind gängige isostatische Presstechnologien bei der Hartmetallherstellung. Sie beseitigen innere Defekte durch gleichmäßigen Druck und verbessern die Dichte und die mechanischen Eigenschaften des Materials. Dieser Artikel analysiert detailliert die Prinzipien, Prozesse, Vor- und Nachteile von CIP und HIP und ihre Auswirkungen auf die Leistung von Hartmetall.

2. Prinzipien des Kaltisostatischen Pressens (CIP) und Heißisostatischen Pressens (HIP)

2.1 Kaltisostatisches Pressen (CIP)

Kaltisostatisches Pressen (CIP) ist eine Presstechnologie, bei der ein flüssiges Medium (wie Wasser oder Öl) verwendet wird, um bei Raumtemperatur oder niedriger Temperatur (üblicherweise $<100\text{ }^{\circ}\text{C}$) gleichmäßigen dreidimensionalen Druck auf Pulver oder Vorformlinge auszuüben. CIP überträgt den Druck durch eine flexible Form (wie Gummi oder Polyurethan) auf die Pulverpartikel und fördert so die Partikelumlagerung und anfängliche Verdichtung, wodurch ein „Grünling“ mit einer bestimmten Festigkeit entsteht. Das Kernprinzip ist das Pascalsche Prinzip: Wenn eine Flüssigkeit in einem geschlossenen Behälter Druck überträgt, ist dieser in alle Richtungen gleichmäßig.

Prozessablauf beim Kaltisostatischen Pressen (CIP):

Das WC-Co-Mischpulver wird in eine flexible Form gefüllt und versiegelt.

Legen Sie es in den Hochdruckbehälter der CIP-Anlage und injizieren Sie das flüssige Medium.

Wenden Sie hohen Druck (100–400 MPa) an und halten Sie diesen mehrere Minuten lang aufrecht.

Nach der Druckentlastung wird der Grünkörper entnommen und für die anschließende Sinterung vorbereitet.

Ziel: Einen gleichmäßigen und dichten Grünkörper bilden, Pressfehler (wie Schichtrisse und Delamination) reduzieren und eine gute Grundlage für das Sintern schaffen.

2.2 Heißisostatisches Pressen (HIP)

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Heißisostatisches Pressen (HIP) ist ein Verfahren, bei dem ein Inertgas (z. B. Argon) verwendet wird, um bei hoher Temperatur (üblicherweise 1000–2000 °C) und hohem Druck (50–200 MPa) dreidimensionalen isostatischen Druck auf den gesinterten Hartmetallrohling auszuüben. HIP wird üblicherweise als Nachbearbeitungsschritt nach dem Sintern eingesetzt. Durch die synergistische Wirkung von hoher Temperatur und hohem Druck werden Mikroporen, Risse und Eigenspannungen im Material beseitigt und Dichte sowie mechanische Eigenschaften weiter verbessert.

Prozessablauf beim Heißisostatischen Pressen (HIP):

Der vorgesinterte oder vakuumgesinterte Hartmetallrohling wird in einen geschlossenen Behälter der HIP-Anlage gelegt.

Nach der Evakuierung wird ein Inertgas (z. B. Argon) eingeblasen.

Die Temperatur wird unter hohem Druck auf die Zieltemperatur erhöht und mehrere Stunden lang aufrechterhalten.

Abkühlen lassen und den Druck ablassen, dann das fertige Produkt herausnehmen.

Ziel: Optimierung der Mikrostruktur, Beseitigung innerer Defekte und Verbesserung der Festigkeit, Zähigkeit und Verschleißfestigkeit von Hartmetall.

3. Vergleich der Prozessparameter zwischen CIP und HIP

Die Prozessparameter von CIP und HIP bei der Hartmetallherstellung unterscheiden sich erheblich, was sich auf ihre Anwendungsszenarien und Auswirkungen auswirkt:

Temperatur:

CIP: Raumtemperatur oder niedrige Temperatur (<100 °C), keine Erwärmung erforderlich, geeignet für die Pressphase.

HIP: Hohe Temperaturen (1200–1450 °C für WC-Co), nahe der Sintertemperatur, fördern die atomare Diffusion und Defektheilung.

Druck:

CIP: 100–400 MPa, höherer Druck sorgt dafür, dass die Pulverpartikel dicht gepackt sind.

HIP: 50–200 MPa, niedrigerer Druck in Kombination mit hoher Temperatur reicht aus, um Mikroporen zu beseitigen.

Medium:

CIP: Flüssigkeit (Wasser, Öl), Druck wird durch eine flexible Form übertragen.

HIP: Schutzgas (Argon, Stickstoff) wirkt direkt auf den Rohling.

Verarbeitungsphase:

CIP: Kompressionsformungsphase, die auf Pulver oder Vorformlinge einwirkt.

HIP: Nachbehandlungsstufe nach dem Sintern, die auf den gesinterten Block einwirkt.

Zeit einhalten:

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

CIP: Wenige Minuten, schnelles Pressen und Formen.

HIP: 1–4 Stunden, ausreichend Zeit, um sicherzustellen, dass Mängel behoben werden.

4. Ausrüstungsanforderungen für CIP und HIP

CIP-Anlagen:

Struktur: Hochdruckbehälter, Hydraulikpumpe, flexible Form (Gummi oder Polyurethan).

Merkmale: Keine Notwendigkeit, hohen Temperaturen standzuhalten, niedrige Gerätekosten (ca. 1–5 Millionen RMB), erfordert jedoch eine hochdruckbeständige Konstruktion.

Wartung: Flüssige Medien müssen regelmäßig ausgetauscht werden und die Form unterliegt einem Verschleiß.

Sicherheit: Beim Betrieb von Flüssigkeiten unter hohem Druck ist eine strikte Leckageverhinderung erforderlich.

HIP-Ausrüstung:

Aufbau: Hochtemperatur- und Hochdruckbehälter, Gaskompressionssystem, Heizofen.

Merkmale: Muss hohen Temperaturen und hohem Druck standhalten, hohe Gerätekosten (ca. 10–30 Millionen RMB) und komplexe Technologie.

Wartung: Die Anforderungen an die Gasreinheit sind hoch und das Dichtungssystem muss regelmäßig überprüft werden.

Sicherheit: Beim Betrieb mit Hochtemperatur- und Hochdruckgasen sind explosionsgeschützte Maßnahmen erforderlich.

5. Anwendungsszenarien von CIP und HIP

CIP-Anwendung:

Pressformen: Wird für die Grünvorbereitung von Hartmetallwerkzeugen (wie Fräsern, Bohren), Spitzmeißeln und komplex geformten Teilen (wie Düsen) verwendet.

Vorteile: geeignet für Massenproduktion, gleichmäßige Formgebung, geeignet für komplexe geometrische Formen.

Einschränkungen: Bietet nur eine anfängliche Verdichtung. Um die Dichte weiter zu erhöhen, ist ein anschließendes Sintern erforderlich.

HIP-Anwendungen:

Nachsinterbehandlung: Wird zur Defektbeseitigung und Leistungsoptimierung von Hochleistungshartmetallen (wie z. B. Flugzeugtriebwerksschaufeln und Präzisionswerkzeugen) verwendet.

Vorteile: Deutlich verbesserte Dichte (nahezu 100 % der theoretischen Dichte), verbesserte Festigkeit und Zähigkeit.

Einschränkungen: Hohe Kosten, geeignet für Produkte mit hoher Wertschöpfung, nicht geeignet für Teile der unteren Preisklasse.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

6. Vor- und Nachteile von CIP und HIP

6.1 Vorteile und Nachteile von CIP

Vorteil:

Durch den gleichmäßigen Druck eignet es sich für die Formgebung komplexer Formen und reduziert Schichtrisse und Delaminationsdefekte.

Die Geräte- und Betriebskosten sind gering, sodass es für die Produktion im großen Maßstab geeignet ist.

Die Bedienung ist einfach und die Vorgangszeit kurz (wenige Minuten).

Mangel:

Es ist nur eine anfängliche Verdichtung vorgesehen und die Gründichte ist gering (60–70 % der theoretischen Dichte).

Mikroskopische Poren lassen sich nicht beseitigen und erfordern ein anschließendes Sintern.

Hohe Anforderungen an die Pulverfließfähigkeit und eine ungleichmäßige Partikelverteilung können zu einer inkonsistenten Dichte führen.

6.2 Vorteile und Nachteile von HIP

Vorteil:

Durch die synergetische Wirkung von hoher Temperatur und hohem Druck wird die Dichte auf nahezu 100 % erhöht, wodurch Härte (+5–10 %), Festigkeit (+10–20 %) und Zähigkeit deutlich verbessert werden.

Beseitigt Mikroporen und Risse, verbessert die Mikrostruktur und verlängert die Lebensdauer der Komponenten (+20–50 %).

Geeignet für Hochleistungshartmetall und erfüllt die strengen Anforderungen der Luftfahrt, Militärindustrie usw.

Mangel:

Die Kosten für Ausrüstung und Betrieb sind hoch und die Prozessdauer lang (mehrere Stunden).

Die anfängliche Qualität des Rohlings ist hoch und Fehler vor dem Sintern können den HIP-Effekt beeinträchtigen.

Hoher Energieverbrauch und große Umweltbelastung (Gasverbrauch, Heizenergieverbrauch).

7. Auswirkungen von CIP und HIP auf die Eigenschaften von Hartmetall

Auswirkungen von CIP:

Dichte: Die Dichte des CIP-Grünkörpers erreicht 60–70 % der theoretischen Dichte bei hoher Gleichmäßigkeit und bietet eine gute Grundlage für das anschließende Sintern.

Mikrostruktur: Reduziert Pressfehler (z. B. Poren, Risse), kann jedoch weder die Korngröße noch die Bindephasenverteilung optimieren.

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Leistung: wirkt sich indirekt auf die endgültige Leistung aus, hauptsächlich durch Verbesserung der Qualität des Grünkörpers und Verringerung der ungleichmäßigen Sinterschrumpfung (<2 %).

Auswirkungen von HIP:

Dichte: Nach dem HIP liegt die Dichte des Hartmetalls nahe 100 % der theoretischen Dichte und die Porosität ist auf <0,1 % reduziert.

Mikrostruktur: Verfeinerte Körner (WC-Partikelgröße 0,5–1 μm), optimierte Kobaltphasenverteilung und reduzierte Restspannung.

Leistung: Härte um 5–10 % erhöht (HV1600–1800), Biegefestigkeit um 10–20 % erhöht (2000–2500 MPa), Verschleißfestigkeit und Lebensdauer deutlich verlängert.

8. Synergie zwischen CIP und HIP bei der Hartmetallherstellung

Bei der Herstellung von Hartmetall werden CIP und HIP üblicherweise in Kombination verwendet, um einen Prozessablauf aus „CIP-Pressen + Vakuumsintern + HIP-Nachbehandlung“ zu bilden:

CIP: Gewährleistet eine gleichmäßige Dichte der Grünkörper während der Pressphase und reduziert so Schrumpfung und Defekte während des Sinterns.

Vakuumsintern: Durch Flüssigphasensintern bei hohen Temperaturen (1350–1450 °C) erreicht der Rohling 90–95 % der theoretischen Dichte.

HIP: Als Nachbehandlung beseitigt es Mikroporen und Risse, optimiert die Mikrostruktur und erfüllt hohe Leistungsanforderungen. Dieser synergistische Prozess verbessert die Qualität von Hartmetall deutlich. Beispielsweise verbessert sich die Ermüdungsbeständigkeit von WC-Co-Teilen für Flugzeugturbinenschaufeln nach dem CIP+HIP-Prozess um 30 % und die Lebensdauer um 50 %.

9. Übersichtstabelle: Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen CIP und HIP

Die folgende Tabelle fasst die Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen CIP und HIP bei der Hartmetallherstellung zusammen:

Projekt	Kaltisostatisches Pressen (CIP)	Heißisostatisches Pressen (HIP)
Prinzip	Flüssiges Medium bei Raumtemperatur überträgt gleichmäßigen dreidimensionalen Druck	Hohe Temperatur und hoher Druck Inertgas übt dreidimensionalen Druck aus
Temperatur	Raumtemperatur oder niedrige Temperatur (<100°C)	Hohe Temperatur (1200–1450 °C)
Druck	100–400 MPa	50–200 MPa
Medium	Flüssigkeit (Wasser, Öl)	Inertgas (Argon)
Verarbeitungsphase	Pressform (grün)	Nachbehandlung nach dem Sintern (fertiges Produkt)
Gerätekosten	Niedriger (1–5 Millionen RMB)	Höher (10–30 Millionen RMB)
Prozesszeit	Ein paar Minuten	1–4 Stunden

COPYRIGHT AND LEGAL LIABILITY STATEMENT

Anwendungsszenario	Fräser, Spitzhacken, komplexe Formen	Hochleistungsteile für die Luftfahrt und das Militär
Vorteil	Gleichmäßiges Formen, niedrige Kosten, für große Mengen geeignet	Hohe Dichte, hervorragende Leistung, wenige Defekte
Mangel	Begrenzte Dichte, erfordert anschließendes Sintern	Hohe Kosten und hoher Energieverbrauch
Auswirkungen auf die Leistung	Verbessern Sie die Qualität des Rohlings und verbessern Sie indirekt die Leistung	Deutliche Verbesserung von Dichte, Härte, Festigkeit und Zähigkeit
Typische Produkte	Fräser, Bohrer, Düsen	Turbinenschaufeln, Präzisionswerkzeuge

veranschaulichen:

Prinzip: CIP basiert auf dem Pascal-Prinzip und HIP kombiniert atomare Diffusion bei hohen Temperaturen.

Die Prozessparameter Temperatur, Druck und Medium bestimmen den Anwendungsschritt.

Ausstattung und Kosten: spiegeln die technische Komplexität und die wirtschaftliche Machbarkeit wider.

Auswirkungen auf die Leistung: CIP optimiert grüne Teile, während HIP die Qualität des fertigen Produkts verbessert.

Datenquelle: Basierend auf Herstellungsstandards für Hartmetall und dem USGS-Bericht 2024 ? web:9,23 ? .

10. Fazit

Kaltisostatisches Pressen (CIP) und Heißisostatisches Pressen (HIP) ergänzen sich in der Hartmetallherstellung und spielen eine Schlüsselrolle in den Press- bzw. Sinter-Nachbearbeitungsphasen. CIP formt mithilfe eines flüssigen Mediums bei Raumtemperatur und hohem Druck einen gleichmäßigen Grünkörper. Dies ist kostengünstig und hocheffizient und eignet sich für die Massenproduktion komplex geformter Teile. Allerdings ist die Dichte begrenzt und erfordert eine anschließende Sinteroptimierung. HIP nutzt Hochtemperatur- und Hochdruckgas zur Beseitigung von Mikroporen und Rissen. Dadurch werden Dichte, Härte und Zähigkeit von Hartmetall deutlich verbessert. Das Verfahren eignet sich für Hochleistungsanwendungen in der Luftfahrt und im Militär. Allerdings sind die Kosten hoch und der Prozess komplex. In der Praxis wird CIP in Kombination mit HIP eingesetzt. Durch das Verfahren „CIP-Pressen + Vakuumsintern + HIP-Nachbearbeitung“ kann die Leistung von Hartmetall maximiert werden, um die hohen Anforderungen an Schneidwerkzeuge, Bergbaumeißel und Präzisionsteile zu erfüllen. In Zukunft wird die Entwicklung von Nano-Hartmetall und umweltfreundlicher Fertigungstechnologie sowie die Prozessoptimierung von CIP und HIP (wie etwa die Reduzierung des HIP-Energieverbrauchs und die Verbesserung der Haltbarkeit von CIP-Formen) den Fortschritt der Hartmetallindustrie weiter vorantreiben.

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