

Innovative Herstellungsverfahren kupferbasierter Werkstoffverbunde für Schleifanwendungen

Tillmann, W.; Gathen, M., Vogli, E.; Nebel, J.; Kronholz, C. (1)

Sinter- und Lötprozesse sind seit vielen Jahren industriell für die Herstellung von Diamantschleifwerkzeugen etabliert. Als neues Verfahren zur flexiblen Herstellung von Schleifwerkzeugen wurde am Lehrstuhl für Werkstofftechnologie eine auf dem Detonationsflammspritzen basierende Methode entwickelt. Diese Herstellungsmethode wird in dieser Veröffentlichung den konventionellen Verfahren, Sintern und Heißisostatischem Pressen (HIP), gegenübergestellt.

Das Detonationsflammspritzen bietet die Vorteile, nahezu jede Schleifwerkzeuggeometrie schnell und individuell herzustellen sowie verschlissene Werkzeuge weitgehend unabhängig vom Werkstoff des Grundkörpers wieder aufarbeiten zu können. So sind auch lokale Reparaturbeschichtungen an größeren Schleifwerkzeugen (z.B. Einzelblattsägen mit einem Durchmesser von über einem Meter) denkbar. Zudem ermöglicht dieses Spritzverfahren abrasive Schichten unter atmosphärischen Bedingungen in nur einem Prozess direkt auf dem Grundkörper zu applizieren.

Neben vielen Vorteilen die dieses Verfahren aufweist, besitzt es jedoch noch einige wissenschaftliche Herausforderungen, bevor es zu einer wirtschaftlichen Anwendung kommen kann. So ist bei der Herstellung zu gewährleisten, dass vor allem große Diamanten (> 300 µm) mit einem Gehalt von ca. 10 - 15 % hervorragend in ein duktilen Matrixmetall eingebunden werden können, ohne sie mechanisch oder thermisch vorzuschädigen.

Konventionelle pulvermetallurgische Herstellungsrouten (z.B. Sintern) ermöglichen es ebenso, Stoffe zu kombinieren, die im flüssigen Zustand nicht mischbar sind und keine Legierungen bilden können (z. B. Kohlenstoff mit Kupfer). Somit

können Werkstücke aus diesen Pseudolegierungen mit den jeweils gewünschten Werkstoffeigenschaften durch entsprechende Pulvermischungen hergestellt werden. Zudem ist der Verlust an Material bei der Werkstückproduktion

gering, da beim Einförmigen die Menge des verwendeten Pulvers für das gewünschte Endprodukt bekannt ist. Ein weiterer wichtiger Vorteil der Sintertechnik ist, dass Stoffe verwendet werden können, die durch ihren hohen Schmelzpunkt (z.B. Wolfram, Schmelzpunkt ca. 3.400 °C) zu aufwändig für andere Herstellungsverfahren sind.

Natürlich gibt es wie bei allen Verfahren auch Einschränkungen. So lohnt sich aus wirtschaftlichen Gründen eine pulvermetallurgische Produktion, aufgrund der erforderlichen Herstellung von teuren Presswerkzeugen, erst ab größeren Stückzahlen. Ein weiterer kritischer Aspekt ist die Einschränkung in der Formgebung, z. B. können keine Werkstücke mit Hinterschneidungen oder komplexen Geometrien hergestellt werden.

In dieser Forschungsarbeit werden Diamant-Bronze-Verbunde, die mit den Verfahren, Sintern, Sintern mit anschließendem heißisostatischem Pressen und Detonationsflammspritzen hergestellt wurden, untereinander verglichen. Die grundlegenden Unterschiede der verwendeten Verfahren sind Tabelle 1 zu entnehmen. Neben dem Vergleich der Morphologie, Här-

	Sintern	HIP	D-Gun
Herstellung von Pseudolegierungen	□	□	□
Wirtschaftlichkeit - Kleinserie - Großserie	Ó □	Ó □	□ Ó
Probengeometrie	□	□	□
Maßhaltigkeit (Formnähe)	□	□	□
Materialverlust bei der Herstellung	□	□	Ó
Reparaturmöglichkeit	□	□	□
Flexibilität	Ó	Ó	□
Prozessschritte bis zum fertigen Werkzeug	- Grünling pressen - Sintern - Auf das Werkzeug auflöten	- Grünling pressen - Sintern - Nachverdichten im HIP-Prozess - Auf das Werkzeug auflöten	- Spritzprozess
□= sehr gut geeignet; □=gut geeignet; □=begrenzt geeignet; Ó= nicht oder nur bedingt geeignet			

Tabelle 1: Gegenüberstellung der betrachteten Herstellungsverfahren Sintern, HIP und Detonationsflammspritzen

te und Bindungsqualität werden die Schleifeigenschaften der unterschiedlich hergestellten Hartstoff-Werkstoffverbunde bei der Bearbeitung von Beton gegenübergestellt.

Bronze und Diamant als Werkstoffe der Wahl

Gesinterte Diamant-Verbundwerkstoffe werden zunehmend für die Bearbeitung mineralischer Materialien wie Naturstein, Glas, Baustoffe und Beton eingesetzt und verdrängen sukzessiv konventionelle Hartmetalle [1], [2]. Diamant ist der härteste bekannte Werkstoff, deutlich härter als Wolframkarbid, Korund oder kubisches Bornitrid. Die geringe Bruchzähigkeit der Diamanten wird in Diamant-Verbundwerkstoffen (Impregs) durch die Einbettung in eine duktile Matrix kompensiert [2]. Um eine optimale Schneidleistung der Diamant-Impregs zu gewährleisten, muss die Metallmatrix der Abrasivität des zu bearbeitenden Materials angepasst werden. Die Matrix sollte so beschaffen sein, dass die Diamanten nach entsprechender Schneidleistung ausbrechen, die Bruchstücke nachfolgende Diamanten schärfen und eine „Selbstschärfung“ des Diamantwerkzeuges erfolgt [3].

Wie bei konventionellen Hartmetallen werden für Diamant-Impregs häufig Kobalt und Kobaltlegierungen als metallische Matrix eingesetzt. Kobalt zeigt eine ideale Kombination aus Duktilität, Verdichtbarkeit und Härte sowie eine gute Einbindung der Diamanten verbunden mit einer geeigneten Abriebfestigkeit im Falle des Diamantverlustes. Den Vorteilen einer Kobaltmatrix stehen jedoch erhebliche Nachteile gegenüber [1], [3 - 5]. Zum Beispiel ist die Verfügbarkeit des Rohstoffes eingeschränkt. Die Minen zur Gewinnung des Erzes liegen zum Teil in den Krisengebieten Afrikas. Dieser Umstand führt zu unkalkulierbaren und stark schwankenden Kobaltpreisen, die eine Planung in Bezug auf Verkaufspreise der Endprodukte über einen längeren Zeitraum erschwert [4]. Ein weiterer Nachteil sind die erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen bei

der Verarbeitung von Kobaltpulvern, da von ihnen das Gefährdungspotential einer karzinogenen Wirkung auf den menschlichen Organismus ausgeht. Ein weiterer Aspekt ist die hohe Schmelztemperatur (1.495 °C) des Kobalts und somit eine vergleichsweise hohe Sintertemperatur, die zu einer Vorschädigung der Diamanten während des Herstellungsprozesses führen kann.

Aufgrund der angesprochenen Nachteile bei der Verwendung von Kobalt werden alternative Matrixmaterialien auf Eisen, Kupfer oder Bronze-Basis forciert [6], [7]. Dabei werden folgende Ziele verfolgt:

- eine optimale Balance zwischen der Abrasivität der Matrix und der Abnutzung der Diamanten zu erreichen,
- durch geringere Sintertemperaturen das Risiko der Vorschädigung der Diamanten, schon bei der Herstellung, zu minimieren und gleichfalls die Energie- und Herstellungskosten zu senken,
- chemische Wechselwirkungen zwischen Diamant und Matrix sollen die Einbindung der Diamanten verbessern.

Sintertechnologie

Beim „Sintern“ wird ein relativ lose gebundenes Pulver, welches lediglich durch Pressen vorverdichtet wurde (Grünling), durch Wärmezufuhr nachverdichtet und versintert. Hierzu liegt die Sintertemperatur bei 2/3 bis 4/5 der Schmelz- bzw. Solidustemperatur. Dabei hat der technische Sintervorgang die Verminderung von Poren durch Kornwachstumsvorgänge zum Ziel. Das mit einer großen freien Energie versehene disperse System (Grünling) wird hierdurch in einen stabileren und weniger porösen Formkörper überführt. Die treibende Kraft des ohne äußere Krafteinwirkung „freiwillig“ verlaufenden Vorganges ist die Differenz der freien Energie zwischen Ausgangs- und Endzustand. Die größten Einflussfaktoren der freien Energie ergeben sich aus der Porigkeit und der Anzahl der Kontaktzonen zwischen den Pulverteil-

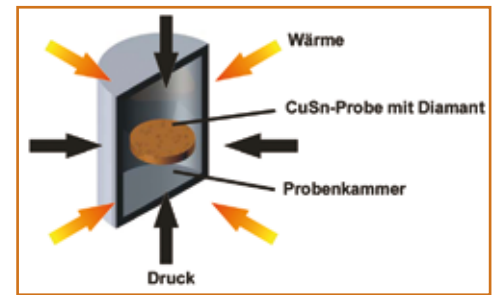


Bild 1: Schematische Darstellung eines heißsostatischen Pressvorgangs

chen und sind somit Haupttriebkraft bei der Verdichtung [8].

Neben der Sinterung als ein Herstellungsverfahren wurden zusätzlich noch Proben hergestellt, die nach der Sinterung noch in einem heißsostatischen Pressvorgang nachverdichtet wurden. Beim Heißsostatischen Pressen (HIP), werden unter Einwirkung der Sintertemperatur und einer isostatischen Druckbeaufschlagung pulverförmige oder poröse Werkstoffe gleichmäßig verdichtet, siehe Bild 1.

Als Druckübertragungsmedium werden beim heißsostatischen Pressen inerte Gase (hier Argon) eingesetzt. Pulver oder hochporöse Werkstoffe werden dabei gekapselt, während Bauteile mit geschlossener Porosität auch ungekapselt heißsostatisch verdichtet werden können (hier der Fall). Als Kapselwerkstoffe können beispielsweise Gläser, aber auch Stähle oder Molybdänlegierungen eingesetzt werden, je nachdem welche Temperaturen und Drücke genutzt werden.

Detonationsflammspritzen

Das Detonationsflammspritzen ist ein hochkinetisches thermisches Beschichtungsverfahren, welches entwickelt wurde, um vorzugsweise Schichten für den Verschleißschutz zu erzeugen. Dazu wird pulverförmiger Beschichtungswerkstoff durch zyklische Gasedetonationen in einem Expansionsrohr auf ein zu beschichtendes Substrat beschleunigt (siehe Bild 2). Das an der Oberfläche teilweise angeschmolzene Pulver (z.B. Bronze als Matrixmetall) trifft mit hoher Geschwindigkeit auf dem Substrat auf

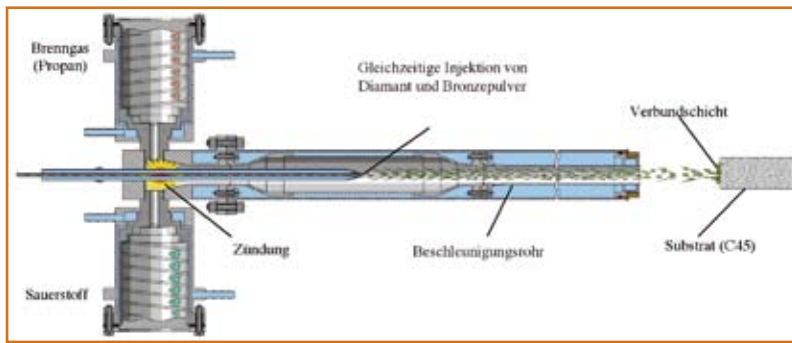


Bild 3: Schematische Darstellung des Detonationsflammspritzprozesses

und verklammert sich durch die plastische Verformung beim Aufprall auf der rauen Oberfläche. Teilweise bilden sich durch Kaltverschweißungen auch hochfeste metallurgische Verbindungen aus.

Zur Herstellung von Verbundschichten für die Gesteinsbearbeitung ist es notwendig, neben relativ weichem Matrixmetall auch große Diamanten in die Schicht einzubinden. Bei gleichzeitiger Zugabe von Diamanten und Bronzepulver in die Spritzeinrichtung kann dieses durch sehr hohe Geschwindigkeiten realisiert werden. So haben die Diamanten beim Aufprall auf dem Substrat eine Geschwindigkeit von bis zu 3000 km/h. Sie werden sprichwörtlich in die „weiche“ Bronze eingeschossen und verankern sich dort mechanisch in der Oberfläche [10-13].

Aufgrund der Temperaturempfindlichkeit von Diamanten in Sauerstoffatmosphäre und der für Spritzprozesse sehr großen Partikelgröße von 150 - 420 µm (25 - 90 µm sind typische Standardkorngrößen für thermische Spritzprozesse) ist diese Einbindung mit einigen Herausforderungen verbunden. So erfordert die erfolgreiche kinetische Implantation dieser Partikel (150 - 420 µm) eine Verdrängung von viel mehr Matrixwerkstoff als beispielsweise die Einbettung von kleineren Hartstoffpartikeln. Zudem ist der Herstellungsprozess so auszulegen, dass die Zersetzung bzw. Oxidation der Diamanten, die je nach Diamantsorte bereits bei Temperaturen von 500 - 850 °C eintreten kann, vermieden wird.

Dennoch ist die Herstellung des gewünschten Werkstoffverbundes

durchaus möglich. Mit Hilfe einer geeigneten Prozessführung, die neben einem optimierten Spritzprozess auch aus einer Substraterwärmung auf 400 °C besteht, können erfolgreich Diamant-Bronze-Verbunde hergestellt werden. In diesem Fall dauert der Beschichtungsprozess der Schleifstifte weniger als 1 min.

Herstellung von Versuchskörpern

Herstellung durch Sinterung und heißisostatisches Pressen

Als Ausgangswerkstoffe wurden Bronzepulver CuSn 85/15 der Korngröße 45 - 90 µm und Diamanten der Korngröße 300 - 420 µm (40/50 US-mesh) der Qualität SDB 1055 verwendet. Diese beiden Komponenten wurden in einem Taumelmischer bei 20 U/min für eine Stunde miteinander vermischt. Die hergestellten Pulvermischung enthielten jeweils 10 Vol-%

Diamanten und 1 Gew-% eines Presshilfsmittels. Jeweils 5 g des Pulvers wurden anschließend zu Grünlingen der Abmessungen $\phi = 15$ mm, $h \sim 3$ mm bei 550 MPa kalt verpresst. Nach dem Austreiben des Presshilfsmittels unter stetiger Argonzufuhr wurden die Probekörper bei 770 °C für 4 h in einem Vakuumofen versintert. Zusätzlich wurde ein Teil der Proben nach der Sinterung noch in einem heißisostatischen Pressprozess (HIP) bei 770 °C und 1000 bar nachverdichtet. Um die Proben der Abmessung $\phi = 15$ mm, $h \sim 3$ mm in der für die Verschleißversuche eigens entwickelten Probenaufnahme zu befestigen (Bild 6), wurden diese auf einen Messingstab mit dem Durchmesser $\phi = 16$ mm mit Hilfe einer AgCuInTi-Lötfolie bei 800 °C für 10 min im Hochvakuum aufgelötet, siehe Bild 3.

Herstellung durch Detonationsflammspritzen

Bronzepulver CuSn 85/15 der Korngröße 45 - 90 µm, welches schon bei den beschriebenen Sinterverfahren verwendet wurde, wurde ebenfalls beim Detonationsflammspritzen als Matrixwerkstoff verwendet. Jedoch musste die Größe der Diamanten im Vergleich zu den Sinterversuchen auf 250 - 300 µm (50 - 60 Mesh) reduziert werden, da aufgrund der bereits angesprochenen Problematik die Einbindung der durchschnittlich um 60 µm größeren Diamanten



Bild 3: Gegenüberstellung der thermisch gespritzten (links) und pulvermetallurgisch hergestellten (rechts) Schleifstifte

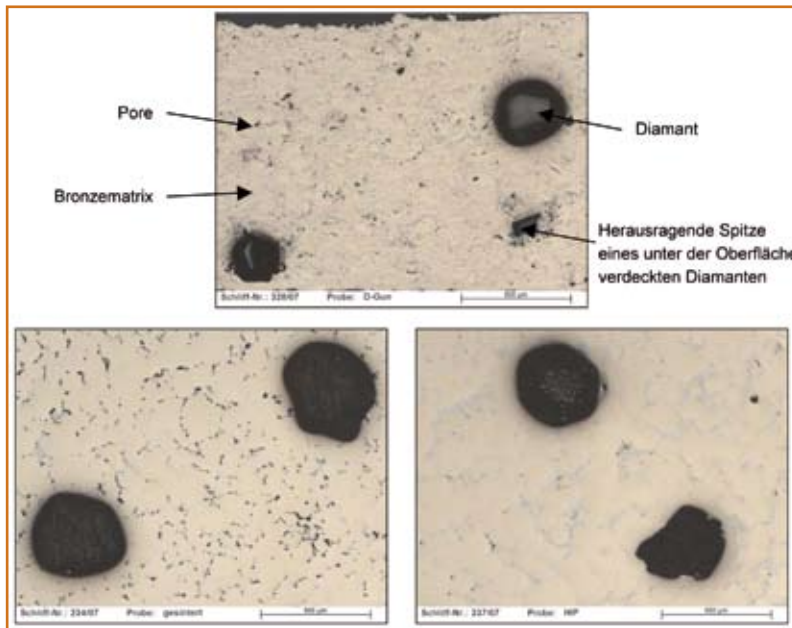


Bild 4: Gegenüberstellung der Gefügestrukturen der auf unterschiedlichem Wege hergestellten Diamant-Bronze-Verbundwerkstoffe. Ganz oben: Gefüge einer durch Detonationsflammspritzten hergestellten Probe; unten links: Gefüge einer gesinterten Probe; Unten rechts: Gefüge einer nach der Sinterung zusätzlich mittels heißisostatischen Pressen nachverdichteten Probe

bislang nicht effektiv gewährleistet werden konnte. Stahlzylinder mit einem Durchmesser von 16 mm wurden als Substratwerkstoff verwendet, die durch einen Sandstrahlprozess auf der Oberfläche angeraut wurden. Ohne weitere Vorbehandlung wurden die Stahlzylinder mit dem Verbundwerkstoff beschichtet, siehe Bild 3.

Vergleich der Verfahren

Eigenschaften der hergestellten Verbundwerkstoffe

Zu Beginn der Vergleichsuntersuchungen wurden die Gefüge der auf unterschiedlichem Wege hergestellten Diamant-Bronze-Probenkörper untersucht. So sind die aus den prozessspezifischen Unterschieden resultierenden Gefügebilder in Bild 4 deutlich zu erkennen. Bei den mittels Detonationsflammspritzten hergestellten Proben ist der lamellare Aufbau der Matrixschicht zu erkennen, die aus der Deformation ursprünglich runder Bronzekörner beim Aufprall resultiert. Damit unterscheidet sich das Matrixgefüge der thermisch

gespritzten Schichten von den gesinterten Verbundwerkstoffen. Bei diesen zeigte sich das typische Gefüge, welches durch freiwillig ablaufende Diffusionsprozesse und Kornwachstum gekennzeichnet ist. Zudem kann durch einen internen Vergleich der pulvermetallurgisch hergestellten Proben (4b, 4c) ein unterschiedlich starker Fortschritt in Abhängigkeit des Herstellungsverfahrens der Sinterung beobachtet werden. Dies spiegelt sich auch in den ermittelten Porositätswerten wider. So konnte durch Porositätsmessungen mittels digitaler Bildanalyse für die gesinterte Probe eine Porosität von 2,7 % (Bild 4b) und für die nach der Sinterung nochmals

nachverdichtete Probe (Bild 4c) 0,8 % Porosität ermittelt werden. Im Vergleich dazu erreichen die thermisch gespritzten Verbundwerkstoffe eine Porosität von 2,4 %. Bei den durch Mikrohärtmessungen ermittelten Härtewerten der Matrix sind keine großen Abweichungen hinsichtlich der Herstellungsrouten zu erkennen, siehe Tabelle 2.

Bei den Untersuchungen zur Einbindung der Diamanten mittels lichtmikroskopischer Bewertung konnte bei allen drei Herstellungsrouten eine gute Einbindung der Diamanten in der Bronzematrix festgestellt werden, siehe Bild 5. In der Bronzematrix werden die Diamanten auf mechanische Weise verankert. Eine zusätzliche chemische Einbindung erfolgt hier nicht.

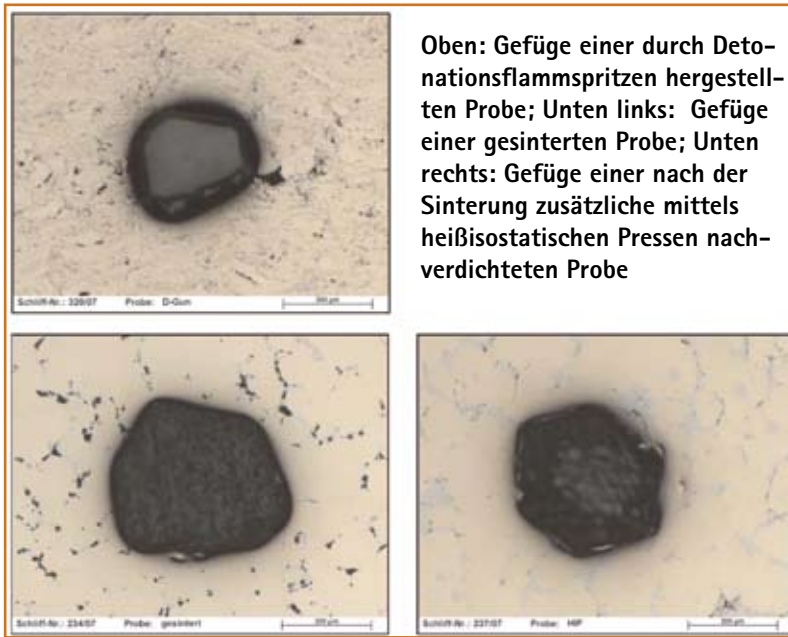
Ein deutlicher Unterschied zwischen den Verfahren besteht jedoch in der Anzahl der in die Matrix eingebundenen Diamanten. So sind mit dem Sinterverfahren Verbundwerkstoffe mit den gewünschten 10 Vol.% Diamanten leicht zu realisieren gewesen. Hingegen konnten derzeit mit dem Detonationsflammspritzten nur ca. 2 Vol.% Diamanten in die Bronzematrix eingebunden werden. Dieses ist darauf zurückzuführen, dass die Diamanten beim Aufprall nur ungefähr zur Hälfte in das Matrixmaterial implantiert werden und bei nicht ausreichender Verklammerung teilweise von diesem zurückprallen.

Verschleißversuche

Im Anschluss an die Gefügeuntersuchungen wurden jeweils die mit den unterschiedlichen Verfahren hergestellten Diamant-Bronze-Proben in einem eigens konstruierten Schleif-

	Sintern	Sintern + HIP	Detonationsflammspritzten
Matrixhärte (HV 0,025/30)	199	202	206
Porosität (Vol.-%)	2,7	0,8	2,4
Diamantgehalt (Vol.-%)	ca. 10	ca. 10	ca. 2

Tabelle 2: Gegenüberstellung von Porositäts- und Härtewerte der betrachteten Herstellungsverfahren Sintern, Sintern mit anschließendem Hippen und Detonationsflammspritzten



Oben: Gefüge einer durch Detonationsflammspritzten hergestellten Probe; **Unten links:** Gefüge einer gesinterten Probe; **Unten rechts:** Gefüge einer nach der Sinterung zusätzliche mittels heißisostatischen Pressen nachverdichteten Probe

Bild 5: Gegenüberstellung der Gefügestrukturen der auf unterschiedlichem Wege hergestellten Diamant-Bronze-Verbundwerkstoffe.

versuch auf ihr Potential als Schleifwerkzeug geprüft, Bild 6a. Hierzu wurden die Schleifstifte mit 2000 N auf eine mit 60 U/min drehenden Zementkreisscheibe bestehend aus CEM III A 42,5 N der Dicke 10 mm gepresst. Der Massenverlust der einzelnen Schleifstifte und der Zementproben wurde nach 2,5; 5; 7; 5; 20 und 35 km bestimmt. Der anhand des Gewichtverlustes ermittelte Probenverschleiß über den Verschleißweg ist in Bild 7 wiedergegeben.

Bei der Gegenüberstellung der detonationsflammspritzten Diamant-Bronze-Schleifstifte mit den Schleifstiften der pulvermetallurgischen Herstellungsrouten (Sintern, HIP) ist zu beobachten, dass noch ein erheblicher Unterschied zwischen der Abrasivität und Standzeit der Schleifwerkzeuge zwischen den Verfahren besteht, vergleiche Bild 7b und 7c, d. So bieten die gesinterten bzw. HIP-Proben vor allem einen geringeren Werkzeugverschleiß und damit eine längere Werkzeugstandzeit.

Im Vergleich des Sinter- und HIP-Verfahrens untereinander konnte beobachtet werden, dass die heißisostatisch nachverdichteten Proben sich noch durch bessere Zerspaneigenschaften und einen geringeren

Werkzeugverschleiß auszeichnen, vergleiche Bild 7c und 7d. Wird nun aber der Schleifstift mit einer detonationsflammspritzten Verbundschicht aus Diamant-Bronze mit einem gespritzten Schleifstift bestehend aus reiner Bronze (CuSn 85/15) verglichen (Bild 7a und 7b), zeigt sich die abbauphysikalische Wirkung der Diamanten. Sind auch nur ca. 2 Vol.% Diamanten in der Bronzematrix eingebettet, so steigern diese die abrasive Wirkung auf den mineralischen Gegenkörper erheblich. Auch wird gleichzeitig der Verschleiß des Schleifstiftes verringert.

Zusammenfassung Ausblick

Für die Bearbeitung von Gesteinen und Beton werden seit einigen Jah-

ren neben Kobalt-Diamant Schleifwerkzeugen auch kupferbasierte Diamantverbunde untersucht und auf ihre Anwendbarkeit geprüft. Niedrigere Sintertemperaturen, geringere Herstellungskosten und eine bessere Umweltverträglichkeit weisen auf das Zukunftspotential dieser Werkstoffauswahl hin.

Ein Vergleich unterschiedlich hergestellter Diamant-Bronze Verbundwerkstoffe im Verschleißversuch zeigt zusätzlich das Potential, das sich bei der Verwendung von Bronze als Matrixwerkstoff offenbart.

Es wurde deutlich, dass die auf pulvermetallurgischem Wege produzierten Proben bislang noch deutlich bessere Schleifeigenschaften und eine längere Werkzeuglebensdauer aufweisen als die mittels Detonationsflammspritzten hergestellten Schleifstifte.

Dennoch zeigte dieser erste Vergleich die Anwendbarkeit des neuen Herstellungsverfahrens für die schleifende Bearbeitung von mineralischem Material. So ist das Gefüge der detonationsflammspritzten Schleifwerkzeuge in Matrixhärte, Porosität und Einbindungsqualität der Diamanten durchaus konkurrenzfähig mit den gesinterten Proben.

Da der erhöhte Werkzeugverschleiß bei den thermisch gespritzten Schleifkörpern auf den geringen Diamantgehalt zurückzuführen ist, ist es das Ziel, diesen in weiteren Forschungsarbeiten und Vergleichsstudien zu steigern, um in naher Zukunft mit diesem Verfahren eine Alternative zu gesinterten Werkzeugen für die Gesteins- und Betonbearbeitung zu schaffen.



Bild 6: Darstellung des Taber Abraser Verschleißtestes (a) und der konstruierten Probenaufnahme (b)

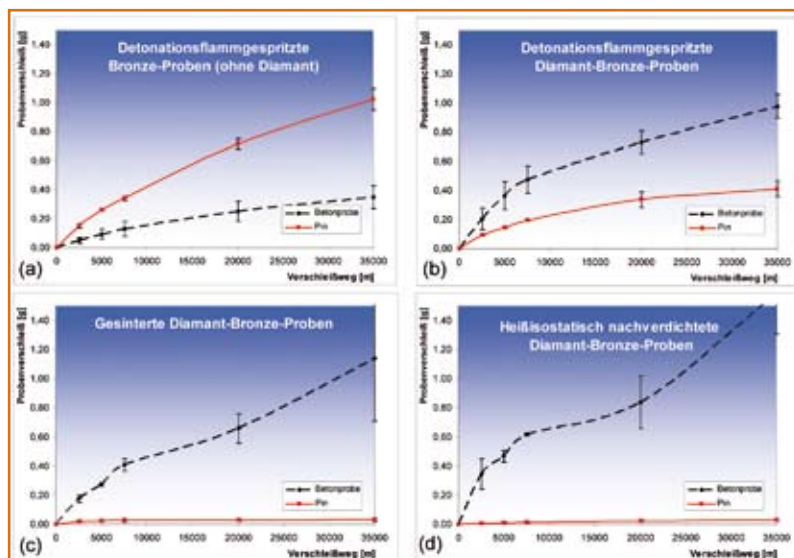


Bild 7: Probenverschleiß aufgetragen über den Verschleißweg für unterschiedliche Fertigungsrouten

Literatur

[1] W. Tillmann „Anwendungen in Bohrwerkzeugen“, Konferenz-Einzelbericht: Werkstoffwissenschaftliche Schriftreihe, Band 41, 2000, S. 39-54
 [2] W. Tillmann, M. Klaassen, C. Kronholz, “Diamond Impregnated Composites – Damage Mechanisms of Diamond and their Prevention” Proc. Euro PM2005, 2-5.10.2005, S. 305-310
 [3] D. Kolarov, M. Gencheva „Investigation of metal binders for diamond un-

ments, obtained through hot pressing“, Powder Metallurgy World Congress, Band 1, 1994, S. 235-237
 [4] G. Weber, C. Weiß „DIAMIX – Eine Bindungsfamilie auf Basis von DIABASE-V21“, Industrie Diamanten Rundschau, Band 39, 2005, 2, S. 134-138
 [5] M. del Villar, J. Echeberria, I. Iturriza, F. Castro, „Sintering/HIPing of Cobalt Powders for Diamond Tools“, PM World Congress, 1998, S. 475-480
 [6] J.-M. Borel, B. Gartner, „Effects of varied CuSn-Alloying systems as selected bonding Material in hot pressing processing

diamond tools“, PM World Congress, 1998, S. 213-216
 [7] S. Hamar-Thibault, C.H. Allibert, W. Tillmann, “Phase Constitution of Cu₇₇Sn₈Ti₁₄Zr₁ as a Binder for Diamond Tools”, Proceedings of EuroPM 1999, S. 57-62
 [8] W. Schatt, “Sintervorgänge Grundlagen”, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1992
 [9] W. Tillmann, M. Klaassen, C. Kronholz, “Diamond Impregnated Composites – Damage Mechanisms of Diamond and their Prevention” Proc. Euro PM2005, 2-5.10.2005, S. 305-310
 [10] W. Tillmann, E. Vogli, R. Rechlin, Fr.-W. Bach, K. Möhwald, Z. Babiak, Manufacturing Diamond Impregnated Tools for Stone Machining through Thermal Spraying, Intl. Thermal Spray Conference, Conf. Proc., Osaka, Japan, 2004
 [11] W. Tillmann, J. Nebel, E. Vogli, Development of superabrasive composite layers through thermo-kinetic coating technologies; Intl. Thermal Spray Conference, Conf. Proc., Beijing, China, 2007
 [12] W. Tillmann, J. Nebel, Thermisches Spritzen von hartstoffimprägniertem Kupfer für abrasive Anforderungen; METALL - Special Kupfer, 11; Giesel-Verlag, 2006, S. 729-733
 [13] W. Tillmann, E. Vogli, J. Nebel, Detonationsflammspritzten hartstoffhaltiger Funktionsschichten; Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 6; Wiley-VCH, 2007, S. 481-488

(1) Wolfgang Tillmann, Miriam Gathen, Evelina Vogli, Jan Nebel, Christian Kronholz, Lehrstuhl für Werkstofftechnologie, Universität Dortmund

Strangpressen und Kaltverformung von Messing

Reetz, B.; Reimers, W. (1)

Bolzen der Messinglegierungen CuZn₁₀, CuZn₂₀, CuZn₃₇ sowie CuZn₄₀Pb₂ wurden mittels Strangpressen im direkten bzw. indirekten Verfahren mit unterschiedlichen Verfahrensparametern verpresst. Die Variation des Zinkgehaltes gestattet die Untersuchung aller relevanten Parameter wie elastische Anisotropie, Stapelfehlerenergie und Gleitverhalten, Versetzungsdichte und -anordnung, Zwillingsbildung, Textur und Phasengehalte. Die Mikrostrukturen und Gefüge der Strangpressprodukte wurden mit Licht- und Elektronenmikroskopie mit Electron Backscattered Diffraction (EBSD), Härtemessungen sowie Laborröntgen- und Synchrotronröntgenbeugung zwecks Phasen-, Textur-,

Eigenspannungs- und Linienprofilanalysen charakterisiert. Weiterhin wurden die mechanischen Kennwerte der Strangpressprodukte mit Zug- und Druckversuchen bestimmt. Durch das Strangpressen wird das Gussgefüge der eingesetzten Bolzen infolge des Zusammenspiels von plastischer Verformung, Erholung, Rekristallisation und im Fall von CuZn₃₇ sowie CuZn₄₀Pb₂ Phasenumwandlungen eingeformt, homogenisiert und in ein verfeinertes Gefüge überführt. Die Kenntnis des Zusammenhanges zwischen den Strangpressparametern und der Korngrößenverteilung, Texturkomponenten und der Phasengehalte erlaubt die gezielte Einstellung der Festigkeit und des Umformvermögens der Strangpressprodukte.

An unterschiedlich stark verformten Proben aus im wesentlichen CuZn₃₇ wurde die mikrostrukturelle Entwicklung bei Kaltstauchung untersucht. Das Gefüge und die Mikrostrukturen der kaltgestauchten Proben wurden mit den bereits zuvor genannten Methoden sowie mittels Transmissions-elektronenmikroskopie (TEM) charakterisiert und bezüglich der mechanischen Zwillingsbildung sowie der Versetzungsbewegung diskutiert [1].

[1] B. Reetz, Mikrostruktur und Eigenschaften stranggepresster sowie kaltverformter Messinglegierungen, Dissertation, TU Berlin, Cuvillier-Verlag, 2006

(1) TU Berlin, Institut für Werkstoffwissenschaften und -technologien Metallische Werkstoffe