

Thermisches Spritzen von hartstoffimprägniertem Kupfer für abrasive Anforderungen

Tillmann, W.; Nebel, J. (1)

Für die Herstellung von Schneid- und Schleifwerkzeugen zur Bearbeitung mineralischer Materialien werden derzeit überwiegend Hartstoffe wie Wolframkarbid (WC), kubisches Bornitrid (k-BN) und Diamant durch Sintern oder Auflöten in eine metallische Matrix eingebunden. Sowohl Sinter- als auch Lötverfahren zeichnen sich durch eine hohe prozesstechnische Komplexität und eine Vielzahl von Prozessschritten aus. Die thermische Spritztechnik bietet eine Alternative diese metallisch gebundenen Schneid- und Schleifwerkzeuge zukünftig kostengünstiger, einfacher und flexibler herzustellen. Zudem ermöglicht sie den Einsatz einer Vielzahl kobaltarmer bzw. -freier Matrixwerkstoffe mit optimal an die Zerspanungsaufgabe angepassten Eigenschaften. Detonationsflammspritzte hartstoffimprägnierte Kupferschichten, die am Lehrstuhl für Werkstofftechnologie der Universität Dortmund hergestellt und untersucht wurden, bestätigen das Anwendungspotential.

Betrachtet man Schneid- und Schleifwerkzeuge zur Bearbeitung von natürlichen Gesteinen oder Beton, stehen scheinbar widersprüchliche Eigenschaftsanforderungen im Vordergrund. So sind vor allem eine hohe Härte bei gleichzeitig ausreichender Duktilität zur Gewährleistung der Schneidhaltigkeit bei schwellender Belastung gefordert. MMC's (Metal-Matrix-Composites) bieten hierzu die besten Voraussetzungen, wobei Verbundwerkstoffe mit in einer weichen Metallmatrix eingebettetem Diamant bevorzugt eingesetzt werden. So ist der Diamant aufgrund seiner spezifischen kristallinen Struktur und der darauf beruhenden Eigenschaften allen anderen Schleifmitteln überlegen (siehe Tabelle 1) [1,2]. Deutlich härter als Wolframkarbid (WC), Aluminiumoxid (Al₂O₃) oder kubisches Bornitrid (k-BN) gewährleistet er theoretisch lange Standzeiten bei der Bearbeitung von Gesteinen.

Wie bei konventionellen Hartmetallen wird der Diamant in eine metallische Matrix eingebettet, welche die geringe Bruchzähigkeit des Diamanten kompensiert. Überwiegend wird dazu Kobalt als Bindermetall verwendet. Kobalt zeigt eine ideale Kombination aus Duktilität, Verdichtbarkeit, Abriebfestigkeit und Härte sowie eine gute Einbindung der Diamanten [1,2]. Da die Kosten für Kobalt und Kobaltlegierungen sehr hoch sind, sowie die Verarbeitung von Kobalt aufgrund der

kanzerogenen Wirkung problematisch ist, wird verstärkt nach alternativen Bindermaterialien gesucht. Eine Vielzahl von Untersuchungen mit Matrixlegierungen auf Cu-, Ni-, und Fe-Basis sind bereits durchgeführt worden. Die Erweiterung der Möglichkeiten, wie die Realisierung von höheren Schnittgeschwindigkeiten oder längeren Werkzeugstandzeiten, treibt die Entwicklung weiter schnell voran.

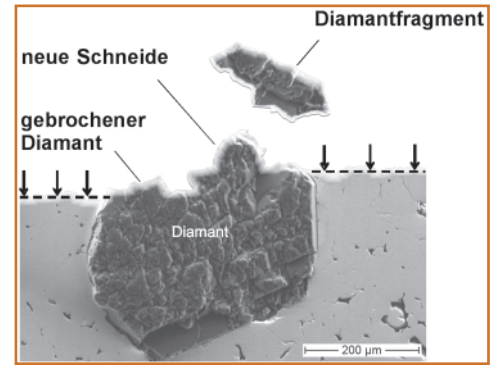


Bild 1: Selbstschärfeffekt diamantimprägnierter Schneidstoffe

Allgemein ist dabei zu beachten, dass zur Gewährleistung einer optimalen Schneidfunktion der Diamanten die metallische Matrix an die Abrasivität des zu bearbeitenden Materials angepasst ist. Die Matrix muss dabei so beschaffen sein, dass die Diamanten nach entsprechender Schneidleistung brechen oder sich aus der Bindung lösen und eine „Selbstschärfung“ des Diamantwerkzeuges erfolgt (siehe Bild 1) [1,3].

Cu- bzw. Bronzelegierungen besitzen durch eine in weiten Bereichen einstellbare Legierungszusammensetzung die Möglichkeit, Härte und Bruchzähigkeit hervorragend an die Anforderungen anzupassen. Gleichzeitig liegen die Schmelz- und Sintertemperaturen dieser Legierungen deutlich

| Eigenschaften | Diamant | k-BN | SiC | Al ₂ O ₃ | WC |
|--|------------|------|------|--------------------------------|------|
| Dichte [g/cm ³] | 3,15-3,51 | 3,48 | 3,21 | 3,92 | 15,0 |
| Härte [HV] | 7500-10000 | 5000 | 2800 | 2200 | 3000 |
| E-Modul [GPa] | 1140 | 900 | 410 | 360 | 570 |
| Wärmeleitfähigkeit [W/mK] | 2100 | 1400 | 380 | 40 | 105 |
| Thermischer Ausdehnungskoeffizient [10 ⁻⁶ K ⁻¹] | 4,8 | 5,6 | 4,5 | 8,6 | 4,5 |

Tabelle 1: Eigenschaftsüberblick unterschiedlicher Hartstoffe

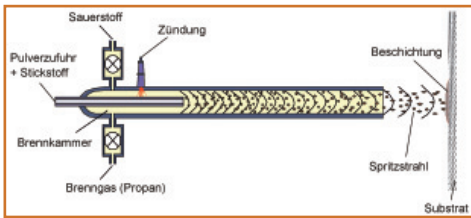


Bild 2: Schematische Darstellung einer Detonationsflammspritze

niedriger als die des reinen Kobalts, welches die Herstellung von Werkzeugen vergleichbarer Eigenschaften bei geringerem Energieaufwand ermöglicht [4, 5]. Sie besitzen daher ein hohes Einsatzpotential [6]. Weitere Vorteile von Bronzelegierungen sind insbesondere für die Warmverdichtung entscheidend. So werden durch die Zugabe von Zinn zu Kupfer nicht nur die Härte der Matrix erhöht, sondern durch eine Schmelztemperaturerniedrigung hervorragende Fließ-eigenschaften erlangt und eine höhere Verdichtung nach Sinterprozessen erreicht. Für die Gesteinsbearbeitung mit gesinterten Diamantverbunden werden z. B. die Bronzelegierungen CuSn 90/10 (126 HB), CuSn 85/15 (156 HB), CuSn 80/20 (240 HB) oder CuSn 60/40 (348 HB) eingesetzt [4]. Problematisch bei der Herstellung von Diamant-Verbundwerkstoffen ist die Temperaturempfindlichkeit der Diamanten. Diamanten graphitisieren unter Sauerstoffatmosphäre bei Temperaturen ab 500 °C. Unter Luftabschluss setzt die Zersetzung zu Kohlenmonoxid und -dioxid erst ab 1500 °C ein [2,7,8]. Deshalb werden Diamant-Verbundwerkstoffe typischerweise durch Sinter- oder Lötprozesse im Vakuum oder unter Schutzgasatmosphäre hergestellt, um die Graphitisierung der Diamanten während der Herstellung zu vermeiden [5,9]. Beide Verfahren zeichnen sich jedoch durch eine hohe prozesstechnische Komplexität mit einer Vielzahl von Arbeitsschritten aus. So beruht das Sintern auf einer pulvermetallurgischen Herstellung einzelner Segmente durch Granulieren, Pressen, Sintern und Nachbehandeln, kombiniert mit anschließendem Fügen an das Trägerwerkzeug. Durch die

Notwendigkeit des Vorverdichtens des Pulvergemisches sind geometriegenauere Presswerkzeuge erforderlich, die eine flexible Anpassung der Werkzeuggeometrie an die Zerspanaufgabe stark erschweren bzw. unmöglich machen.

Das Löten zeichnet sich durch einen mehrstufigen Löttauftrag aus, der mit einem aufwändigen, oft manuellen, Positionierprozess der einzelnen Diamanten („Pick and Place“) gekoppelt ist. Zudem ist das Auflöten von Hartstoffen in der Regel auf planare Bauteile beschränkt, da das Fließverhalten des Lotes berücksichtigt werden muss. Bei beiden Verfahren ist zudem der Wärmeeintrag in den Trägerkörper sehr hoch, wodurch mit einem Bauteilverzug zu rechnen ist. Die Reparatur von verschlissenen Bauteilen ist bei beiden Verfahren ebenfalls nicht oder nur bedingt möglich.

Eine Verfahrensalternative zu aufwändigen und stark einschränkenden Sinter- und Lötprozessen bei der Herstellung hartstoffimprägnierter Verbundwerkzeuge können thermische Spritzverfahren liefern [10-13].

Die Möglichkeiten zur Verbesserung der Oberflächeneigenschaften mittels thermischer Spritzverfahren sind seit langer Zeit bekannt. Je nach Zielsetzung lassen sich durch die Beschichtung unterschiedliche Eigenschaften, wie elektrische Leitfähigkeit, Isolation, hohe Verschleißbeständigkeit oder Korrosionsschutz erreichen [14]. Die Auswahl der einzelnen Schichtsysteme und thermischen Spritzverfahren richtet sich stark nach den zu be- und verarbeitenden Materialien, den Parametern der Be- und Verarbeitungsprozesse, den Trägermaterialien und den Anwendungen. Um dichte Diamant-MMC-Schichten herzustellen, bieten sich die Verfahren des Kaltgasspritzens, des Hochgeschwindigkeitsflammspritzens und des Detonationsflammspritzens an. Diese Verfahren zeichnen sich speziell durch besonders hohe Partikelgeschwindigkeiten beim Beschichtungsvorgang bei geringer Temperatureinwirkung aus. Die nachfolgend beschriebenen Versuche, die an der Detonationsflammspritze des Lehrstuhls für Werkstofftechnologie der Universi-

tät Dortmund durchgeführt wurden, bestätigen diese Hypothese.

Detonationsflammspritzen

Die verwendete Detonationsflammspritzeanlage SAT 98 der Firma Surface Advanced Technology (Warschau, Polen) besteht stark vereinfacht aus einem etwa 1 m langen Beschleunigungsrohr, an dessen einem Ende sich eine Brennkammer befindet (Bild 2). In dieser Brennkammer wird zyklisch ein zugeführtes Brenngas-Sauerstoffgemisch (hier: Propan-Sauerstoff) durch einen elektrischen Funken zur Detonation gebracht. Gleichzeitig wird Spritzpulver (hier: ein Gemisch aus Hartstoffpartikeln und pulverförmigem Matrixwerkstoff) in eine Zone zwischen der Detonationsfront und Austrittsöffnung des Beschleunigungsrohres gefördert. Die im Rohr entstehende Schockwelle beschleunigt die Spritzteilchen in einem gerichteten Strahl auf die zu beschichtende Werkzeugoberfläche. Gleichzeitig wird in der Flammenfront das Spritzpulver erwärmt. Sowohl die Gasgeschwindigkeit und -temperatur nach der Detonation als auch die Temperatur der Spritzpartikel sind stark von den eingestellten Anlagenparametern abhängig. Bei Detonationsfrequenzen von typischerweise 2 – 10 Hz werden maximale Partikelgeschwindigkeiten von bis zu 1200 m/s erreicht [15-17]. Wird als Spritzpulver ein Matrixwerkstoff mit geringer Schmelztemperatur (hier: Kupfer bzw. Bronzelegierungen) und kleiner Partikelgröße (25 – 40 µm) verwendet, schmilzt dieses durch die Gasetonation partiell an. Treffen diese Partikel nun im teigigen Zustand auf das zu beschichtende Werkzeug, verklammern und erstarren sie auf der vorher angerauten Oberfläche und bilden eine Schicht. Folgen ihnen nun vergleichsweise große Hartstoffpartikel (200 – 500 µm) mit einer hohen kinetischen Energie, werden sie in die gebildete Schicht implantiert. Ein gleichmäßiger Materialverbund entsteht. Aufgrund der hohen Partikelgeschwindigkeiten ist es beim Detonationsflammspritzens möglich, dichte Schichten mit einer Porosität unter 3 % und einer sehr guten adhäsiven

Haftung auf dem Substratmaterial abzuschneiden. Beide Eigenschaften sind von besonderer Bedeutung für die Herstellung von funktionellen MMC-Schneid- und Schleifwerkzeugen. Durch die Variation des Sauerstoff- und Propanverhältnisses kann zudem die Temperatur der Spritzpartikel bedarfsgerecht angepasst werden. So ist es im Beschichtungsprozess z. B. leicht möglich, die Partikeltemperatur weit unterhalb der Zersetzungstemperatur von Diamant zu halten.

Zielsetzung

Ziel dieser Forschung ist es, durch die Verwendung des Detonationsflammspritzens eine Methodik zur flexiblen Herstellung kostengünstiger Schneid- und Schleifwerkzeuge für die Gesteinsbearbeitung bereitzustellen. Aufgrund des steigenden Bedarfs wird hierbei der Fokus auf kobaltfreie Diamantverbunde gelegt.

Es sind dabei eine Vielzahl von Randbedingungen zu gewährleisten, die nachfolgend kurz dargestellt sind:

- Es ist eine gute An- und Einbindung der Hartstoffpartikeln (Diamant / Matrix) zu gewährleisten.
- Hartstoffpartikel der Korngröße zwischen 200 µm bis 500 µm sind einzubetten (optimale Abtragsleistung beim Bearbeiten von harten Gesteinen und Beton).
- Die Verteilung der Hartstoffpartikel in der Matrix ist auf einen homogenen Anteil von 5 bis 10 Vol% im MMC einzustellen.
- Die Partikel sollten durch den Beschichtungsprozess möglichst nicht vorgeschädigt werden (Wärmeeintrag beim Beschichten < 500 °C bei Diamant, kein Brechen der Hartstoffe).
- Ein hoher Auftrag-Wirkungsgrad ist zur Kostenreduktion anzustreben.
- Der Matrixwerkstoff darf zur Gewährleistung einer hohen Festigkeit und Duktilität nach Möglichkeit nicht oxidieren und ist an die Zerspanaufgabe anzupassen.
- Eine geringe Porosität der Verbundschicht ist durch optimierte

Beschichtungsparameter einzustellen.

- Die MMC-Schicht muss eine hervorragende Haftung an das Substrat (Trägerkörper) aufweisen, um im Einsatz bei der Gesteinsbearbeitung nicht abzuplatzen.

Auch wenn später die Forschung auf stark zukunftssträchtige Diamantwerkzeuge konzentriert werden soll, bietet sich aufgrund der hohen Kosten von Diamant die Auswahl eines Ersatzwerkstoffes für richtungsweisende Versuche an. Al₂O₃, das im Vergleich zu Diamant eine ähnliche Dichte aufweist, kann für viele Fragestellungen als Modellwerkstoff dienen. Optimierungsversuche zur Bestimmung der Beschichtungsparameter wurden daher überwiegend mit diesem Hartstoff durchgeführt. Dazu wurden die Korngrößen EKF-54 (300 – 355 µm) und EKF-24 (710 – 850 µm) verwendet.

Zur besseren Vergleichbarkeit wurden alle Versuche mit dem gleichen Matrixwerkstoff durchgeführt. Dabei handelte es sich um Kupfer der Korngröße 25 – 45 µm. Basierend auf Erfahrungen in der Spritztechnik kann jedoch davon ausgegangen werden, dass Beschichtungsparameter und Morphologieuntersuchungen in weiten Bereichen auch auf die Werkstoffe CuSn 90-10 und CuSn 85-15 übertragbar sind.

Versuchsdurchführung

Zu Beginn der Untersuchungen wurde zunächst ausschließlich der Spritzprozess des Matrixwerkstoffes betrachtet, da dieser zu einem sehr hohen Anteil die Eigenschaften der späteren MMC-Verbundschicht bestimmt. Es wurden dazu folgende Anlagenparameter optimiert:

- Brenngas,
- Verhältnis Brenngas / Sauerstoff,
- Volumenstrom Brenngas und Sauerstoff,
- Detonationsfrequenz,
- Korngröße Pulverpulver,
- Pulverfördertrate,
- Zerstäubergasdruck für die Pulverzufuhr,
- Abstand des Beschleunigungsrohrs zur Probe,

- Verfahrensgeschwindigkeit der Probe beim Beschichten,
- Beschichtungsüberläufe,
- Proben temperatur und
- Substratrauheit.

Das Ergebnis der Optimierung ist in den Bildern 3 und 4 gegenübergestellt. Die Abbildungen zeigen lichtmikroskopische Aufnahmen von Querschliffen detonationsflammspritzter Cu-Schichten (Bildmitte) auf einem Cu-Substrat (unterer Bildabschnitt). Innerhalb der Schichten sind Poren als vollständig schwarze Bereiche und CuO als grauer Schichtanteil erkennbar.

Bild 3 ist zu entnehmen, dass die detonationsgespritzten Cu-Schichten vor der Optimierung zwar bereits eine relativ dichte Morphologie aufweisen und sehr gut mit dem Kupfersubstrat verbunden sind, jedoch einen sehr hohen Anteil an CuO besitzen. CuO besitzt für die Herstellung von MMC-Zerspanungswerkzeugen die unerwünschten Eigenschaften einer geringen Duktilität und Biegefestigkeit, wie auch einer geringeren Wärmeleitfähigkeit und einem niedrigerem Schmelzpunkt als reines Kupfer. Die optimierte Kupferschicht (siehe Bild 4) weist dagegen für die Herstellung an Luft ohne die Verwendung einer inerten Atmosphäre einen außergewöhnlich geringen CuO-Anteil bei einer Porosität < 1 %

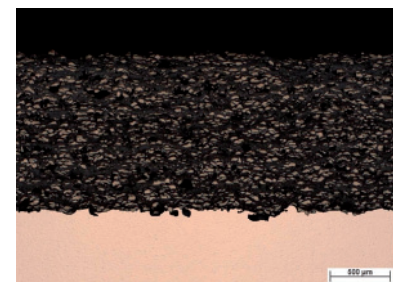


Bild 3: Cu-Schicht vor Optimierung

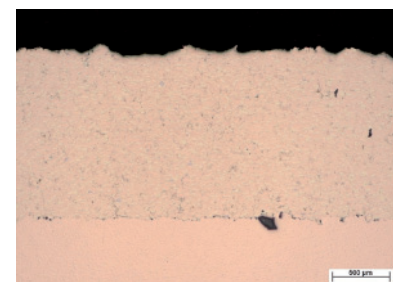


Bild 4: Cu-Schicht nach Optimierung

auf. An der Grenzfläche der Beschichtung zum Cu-Substrat ist ein einzelner Strahlpartikel aus Al_2O_3 zu erkennen, der vom Aufrauen des Substrates durch einen Strahlprozess implantiert wurde. Die Reproduzierbarkeit dieser Schichtqualität wurde in mehreren Versuchen bestätigt.

Um die Zielsetzung zu erfüllen, einen Hartstoffpartikel einer Korngröße von 200 – 500 μm bei einem Volumenanteil von 5 – 10 % in die Schicht einzubinden, wird der Beschichtungsprozess um eine Vielzahl weiterer Parameter erweitert. Insbesondere ist die Kinetik der unterschiedlichen Partikel in der Flugphase aufeinander abzustimmen und zu optimieren, um das Implantieren der Hartstoffpartikel zu ermöglichen, Rückpraller vom Substrat zu minimieren und das Brechen der Hartstoffpartikel zu vermeiden. Gleichfalls ist zu gewährleisten, dass die Kupferpartikel eine dichte Schicht bilden, welche den Hartstoff gut einbindet.

Um dieses systematisch zu erreichen, wurde bei sonst konstanten Spritzparametern zuerst die räumliche Anordnung der Zufuhr des Al_2O_3 variiert. So besteht neben der Zufuhr der Partikel unmittelbar vor die Detonationsfront die Möglichkeit, durch eine eigenkonstruierte, externe Fördereinrichtung gezielt Hartstoff in unterschiedlichem Winkel, Menge und Geschwindigkeit dem Prozess vor dem Beschleunigungsrohraustritt zuzugeben. Es wurde festgestellt, dass die besten Ergebnisse mit der gleichzeitigen Zugabe von Kupferpulver und Aluminiumoxid unmittelbar vor der Detonationsfront erzielt werden konnten.

Über die Zufuhr des Al_2O_3 hinaus wurden weitere Untersuchungen zur Bestimmung der optimalen Substrat- und Beschichtungstemperatur durchgeführt. So wurde festgestellt, dass die Kupferspritzpartikel durch hohe Umformgrade beim Auftreffen auf das Substrat auch ohne die Einbindung von Al_2O_3 bereits eine Schicht mit vergleichsweise hoher Härte von 129 HB (im Vergleich zu ca. 70 HB bei Cu-DHP im Auslieferungszustand) bilden. Treffen nun Hartstoffpartikel im Spritzprozess auf diese Schicht, prallt ein hoher Anteil zurück statt in der Schicht zu verbleiben. Dieser Effekt

trifft insbesondere bei großen Partikelfractionen des zu implantierenden Hartstoffes auf. So konnten bei Versuchen ohne eine zusätzliche Erwärmung der Probe nur Partikelgrößen bis maximal 100 μm in der Schicht verankert werden (siehe Bild 5). Alle größeren Al_2O_3 -Partikel, die auf das Substrat beschleunigt wurden, prallten unmittelbar von ihm zurück oder hafteten nur unzureichend in diesen, so dass sie durch die nachfolgende Detonation wieder gelöst wurden. Der Auftragswirkungsgrad des Hartstoffes betrug bei der Verwendung von EKF-24 weniger als 10 %.

Um den Auftragwirkungsgrad zu erhöhen, wurden Versuche unternommen die Duktilität von Substrat und Schicht im Spritzprozess zu erhöhen. Der Einfluss einer zusätzlichen Probenerwärmung wurde dazu analysiert. Hierfür wurde eine entsprechende Widerstandsheizung konstruiert, die eine Regelung der Proben temperatur bis zu 350 °C auf eine Genauigkeit von 20 °C während des Spritzvorgangs zulässt.

An Hand der Versuche wurde die Vermutung bestätigt, dass eine Erhöhung der Temperatur und damit verbunden die Verbesserung der Duktilität die Anzahl der „Abpraller“ vermindert. Auch können mehr und gleichzeitig größere Hartstoffpartikel in die Schicht implantiert werden. Ebenfalls konnte nachgewiesen werden, dass der Kupferoxidanteil in der abgeschiedenen Verbundschicht mit Zunahme der Proben temperatur auf 350 °C nur unmerklich zunimmt (vgl. Bilder 5 und 6).

Den metallografischen Aufnahmen kann ebenfalls entnommen werden, dass durch angepasste Spritzparameter mit oder ohne Vorwärmen des Substrates bereits eine optimale Einbindung des Al_2O_3 -Hartstoffes in die Kupferschicht erzielt werden konnte. Die Anbindung an das Kupfersubstrat ist ebenfalls als sehr gut zu bewerten. In den hergestellten Werkstoffverbunden ist zudem nahezu keine Porosität vorhanden. Lediglich geringe Oxideinschlüsse sind zu erkennen. Die Korngröße der implantierten Al_2O_3 -Partikel konnte zum aktuellen Stand der Optimierungen durch die Temperaturerhöhung des Substrates auf 350 °C auf Partikelgrößen bis 250 μm

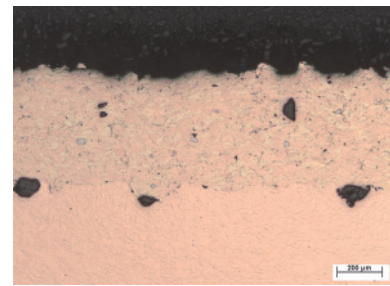


Bild 5: Lichtmikroskopische Aufnahme einer detonationsgespritzten Al_2O_3 -Cu Verbundschicht ohne Erwärmung des Cu-Substrats

erweitert werden. Die Hartstoffpartikelgröße liegt damit jedoch noch nicht vollständig im gewünschten Bereich von 200 – 500 μm .

Die Spritzparameter der optimierten Schichten sind in Tabelle 2 dargestellt. Um die Übertragbarkeit der bisherigen Ergebnisse sicherzustellen, wurde ein Stichprobenversuch mit Diamant einer Partikelgröße von 150 - 250 μm bei gleichen Spritzparametern und 350 °C Proben temperatur durchgeführt.

In der REM-Aufnahme (Bild 7) ist die hervorragende Einbindung des Diamanten in die Kupfermatrix gut zu erkennen. Ebenfalls ist zu entnehmen, dass die Porosität des hergestellten Werkstoffverbundes wie bei den Al_2O_3 -Cu Spritzschichten sehr gering ist.

Bei den verwendeten Diamantkorngrößen blieben die Diamanten größtenteils unbeschädigt, d. h. sie weisen keine Risse oder Ausbrechungen auf. Die scharfen Kanten des Diamanten, die aus der weichen Kupfermatrix durch die Präparation herausragen, bestätigen die Stabilität des Diamanten in der Bindung und damit die grundsätzliche Eignung für die Aufgabe eines Schleifwerkzeugs.

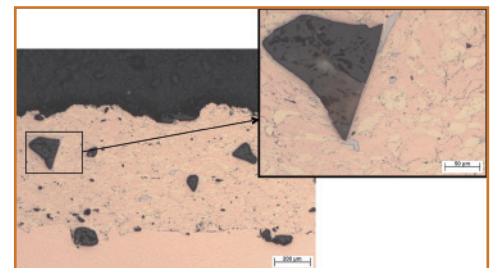


Bild 6: Aufnahme Al_2O_3 -Cu Verbundschicht mit Vorheizen der Probe auf 350 °C

| | | |
|--------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Substrat | Werkstoff | Cu 99,5 |
| Pulver 1 | Werkstoff | Al ₂ O ₃ |
| | Körnung | EKF-24 |
| Pulver 2 | Werkstoff | Cu |
| | Körnung [µm] | 45K20 |
| Brennerparameter | O ₂ [l/min] | 29 |
| | C ₃ H ₈ [l/min] | 17 |
| | Frequenz [Hz] | 3 |
| Probenbewegung | Abstand [mm] | 200 |
| | Geschw. [mm/min] | 600 |
| Substrattemperatur | vor Spritzen [°C] | 350 |
| | nach Spritzen [°C] | 340 |

Tabelle 2: Optimierte Spritzparameter für das Detonationsflammspritzen von Al₂O₃-Cu

Diskussion und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass Hartstoff-Verbundschichten erfolgreich mit dem Detonationsflammspritzverfahren erzeugt werden können. Der Hartstoff (Al₂O₃ oder Diamant) wurde dazu gut in eine Kupferschicht eingebettet. Sowohl die Porosität der Matrix als auch der Kupferoxidanteil in der Schicht konnte durch die Anpassung der Spritzparameter auf ein Minimum reduziert werden. Das Detonationsflammspritzverfahren weist damit ein hohes Anwendungspotential als alternatives Verfahren für die Herstellung von Schleifwerkzeugen zur Bearbeitung von Gestein und Beton auf.

Gegenüber dem Sintern oder Löten sind als wesentliche Vorzüge des Detonationsflammspritzens zusammenzufassen:

- Eine Vielzahl von Kombinationen unterschiedlicher Matrixlegierungen und Hartstoffen ist herstellbar.
- Nahezu alle Werkstoffe können beschichtet werden.
- Die Anzahl der Bearbeitungsschritte kann reduziert werden. Neben dem eigentlichen Spritzprozess sind keine weiteren Vorbehandlungen des Werkzeugs notwendig. Nachbehandlungsschritte reduzieren sich auf eine evtl. Glühung im Vakuumofen zur Spannungsreduktion.
- Durch den Einsatz von Handlingsystemen ist es im laufenden

Spritzprozess möglich, das Bauteil fortlaufend neu zu positionieren, so dass auch komplexe Bauteilgeometrien beschichtet werden können.

- Lokale Beschichtungen sind möglich.
- Reparaturbeschichtungen defekter Bauteiloberflächen sind durchführbar. Auch verschlissene Oberflächen sind mittels Abstrahlen bis auf den Grundkörper und anschließendes Neubeschichten ohne eine thermo-mechanische Beeinträchtigung des Grundkörpers wiederherzustellen.

Für den thermischen Spritzprozess konnte durch die Untersuchungen die Erkenntnis abgeleitet werden, dass sich eine Bauteilerwärmung günstig auf die Herstellung dieser Materialverbunde auswirkt. Da bisher mit der vorhandenen Heizvorrichtung nur kontrollierte Substrattemperaturen bis 350 °C gewährleistet werden konnten, ist es anzustreben, durch eine Neukonstruktion weitere Versuche bei Temperaturen bis zu 500 °C zu realisieren. Ein höherer Auftragswirkungsgrad der Hartstoffpartikel größerer Partikelfractionen soll damit sichergestellt werden.

Im Hinblick auf die zukünftige Anwendung wird die Verwendung von Bronzelegierungen untersucht. Ebenfalls wird versucht, größere Diamanten (250 – 500 µm) in die verschiedenen Matrixmaterialien einzubinden. Die hergestellten Hartstoff-Verbunde sind anschließend in weiteren Untersuchungen bezüglich ihres Einsatzverhaltens bei der Gesteinsbearbeitung zu prüfen.

Literatur

[1] Tillmann, W.: „Trends and market perspectives for diamond tools in the construction industry“, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 18, 2000, S. 301-306
 [2] Marx, C.: „Diamantwerkzeuge und ihr Einsatz in Flachbohrungen“, Druckschrift der Fa. Christensen Diamond Products GmbH, Celle, 1967
 [3] del Villar, M.; Echeberria, J.; Itturiza, I.; Castro, F.: „Sintering/HIPing of Cobalt Powders for Diamond Tools“, PM World Congress „Superhard/Refractory Metals“, 1998, S. 475-480
 [4] Borel, J.-M.; Gartner, B.: Effects of Varied CuSn-Alloying Systems as Selected Bonding Material in Hot Pressing Processing Diamond Tools“, PM World Congress

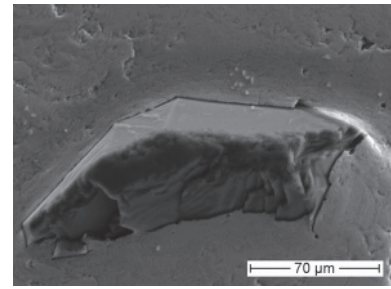


Bild 7: REM-Aufnahme einer Diamant-Cu-Verbundschicht

„Hard Material“, 1998, S. 213-216
 [5] Ojeda, R. G.; del Villar, M.; Muro, P.; Itturiza I.; Castro, F.: „Densification of Diamond Tools with Co, Ni and Fe Based Metallic Binders“ PM World Congress „Superhard/Refractory Metals“, 1998, S. 481-486
 [6] Clark, I. E.; Kamphuis, B. J.: „Cobalite HDR – a new prealloyed matrix powder for diamond construction tools“, Industrial Diamond, Review, Vol. 3, 2002, S. 177-182
 [7] Schatt, W.; Wieters, K.-P.: „Pulvermetallurgie – Technologien und Werkstoffe“, VDI-Verlag, ISBN 3-18-401343-x, 1994, 454 Seiten
 [8] Salmang, H.; Scholze, H.: „Keramik – Teil 2: Keramische Werkstoffe“, 6. Aufl., Springer-Verlag, ISBN 3-540-12595-7, 1983, 276 Seiten
 [9] Weber, L.: „Improved Embedding of Diamonds by HIP-Treatment“, Proc. Intern. Conf. ON Hot Isostatic Pressing, Beijing, China, 9-11 Juni 1999, International Academic Publishers, S. 256-260
 [10] Tillmann, W.; Vogli, E.; Rechlin, R.; Bach, F.-W.; Möhwald, K.; Babiak, Z.; Rothardt, T.: „Manufacturing Diamond Impregnated Tools for Stone Machining through Thermal Spraying“, Proc. Of the International Thermal Spray Conference ITSC, Osaka, Japan, 2004
 [11] Kim, H. J.; Jung, D. H.; Jang, J. H.; Lee, C. H.; Assessment of Metal / Diamond Composite Coatings by Cold Spray Deposition; ITSC 2006
 [12] Richardson, A. F.; Neville, A.; Wilson, J. I. B.: Developing diamond MMC's to improve durability in aggressive abrasive conditions; Wear, Band 255; 593-605; 2003
 [13] Zeller, R.; Aumüller, B.; Schutte, K.; Bergmann, H.W.; Plasmaspritzten von Diamantwerkzeugen; Internat. Congress on Advanced Materials, their Processes and Applications, Band 5; DGM Informationsgesellschaft; 373-377; 1996
 [14] Bach, Fr.-W.; Möhwald, K.; Laarman, A.; Wenz, Th.: Moderne Beschichtungsverfahren. Wiley-VCH Verlag, 2004
 [15] Kadyrov E., Kadyrov V.: Advanced Gas Detonation Coating Process DEMETON, Proc. of ITSC'95, Kobe, 1995
 [16] Kadyrov, E.: Gas dynamical parameters of detonation powder spraying. Proc. of 9th NTSC, Ohio USA, October 1996
 [17] Fagoaga I., Barykin G., Juan J., Soroa T., Vaquero C.: The High Frequency Puls Detonation (HFPD) Spray Process, Proc. of the UTSC'99, Düsseldorf 1999

(1) Wolfgang Tillmann, Jan Nebel, Lehrstuhl für Werkstofftechnologie, Universität Dortmund