

# Hochproduktives Schleifen mit keramisch gebundenen Superabrasives

## Teil 2: Die vDD-Technologie für Diamant-Abrichtwerkzeuge in keramischer Bindung

P. Beyer

Die Optimierung eines hochproduktiven Schleifprozesses ist nur über die Analyse und Verbesserung aller Faktoren des Gesamtsystems möglich. Der Beitrag des Schleifwerkzeuglieferanten beschränkt sich dabei nicht nur auf das Schleifwerkzeug selbst, sondern kann durch die Auswahl und Entwicklung eines entsprechenden Abrichtwerkzeuges zur Konditionierung wesentlich beeinflusst werden [1].

Im ersten Teil der Beitragsreihe wurde das Vorgehen zur Entwicklung einer neuen CBN-Schleifwerkzeuggeneration, der HPB-Technologie [2], anschaulich dargestellt. Um den gesamten Schleifprozess werkzeugseitig zu optimieren, ist jedoch auch zu diskutieren, ob bei der Wahl des Abrichtwerkzeuges neue Ansätze möglich sind.

Teil 2 dieser Beitragsreihe soll eine erste Übersicht über die noch junge Technologie keramisch gebundener vDD-Werkzeuge („vitrified Diamond Dresser“) zum Abrichten geben und abschließend einen Ausblick auf das Potenzial dieser Werkzeuggruppe wagen.

Allgemeiner Standard bei der Konditionierung von keramisch gebundenen CBN-Schleifwerkzeugen ist der Einsatz von – wo möglich rotierenden – metallgebundenen oder galvanisch belegten Diamantabrichtwerkzeugen. Die Abrichtwerkzeuge zeichnen sich in der Regel durch eine sehr gute Verschleißbeständigkeit aus. Daraus resultierend müssen die Abrichtwerkzeuge selbst regelmäßig nachgesetzt werden, bzw. sind bei einschichtiger Belegung vergleichsweise schnell abgenutzt.

In der Praxis bedeutet dieses für die metallgebundenen Werkzeuge entweder eine Rücksendung zum Nachsetzen an den Hersteller, oder aber zumindest eine Unterbrechung des Prozesses und externe Konditionierung außerhalb der Produktionsmaschine. Bei einschichtigen Werkzeugen ist eine Wiederbelegung durch den Hersteller nötig. Beide Varianten sind ein vergleichsweise kosten- und zeitintensiver Prozess.

Als Alternative wurde auch hier vereinzelt die keramische Bindung

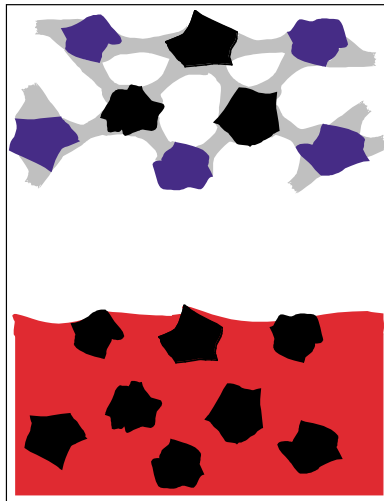
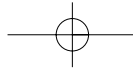
erprobt. Die bisher auf dem Markt verfügbaren, keramisch gebundenen Abrichtwerkzeuge wiesen in der Regel noch eine zu geringe Standzeit auf, um wirtschaftlich im Serieneinsatz Verwendung zu finden.

Für einen Hersteller im Spezialsegment der keramischen Bindungen stellt sich daher die Frage, ob diese Lücke nicht durch eine gezielte Optimierung geschlossen werden kann.

### Die vDD-Abrichtwerkzeuge

Die wesentlichen Strukturunterschiede der Matrixsysteme Metall und Keramik zeigt *Bild 1*. Das dichte Gefüge der metallgebundenen Struktur kann nur reduzierte freischneidende Eigenschaften haben. Die offene keramische Struktur hingegen bietet diesbezüglich ein wesentlich höheres Potenzial, hat jedoch im Bereich der Verschleißfestigkeit Nachteile. Dementsprechend definiert sich das Anforderungsprofil für ein wirtschaftlich einsetzbares, keramisch gebundenes Abrichtwerkzeug folgendermaßen:

- Optimierung der Kornhaltekäufe,
- freischneidendes System, möglichst ohne manuelle Nachschärfung,



**1 Strukturen von Abrichtwerkzeugen**  
– vDD, offen, freischneidend (oben); konservativ metallgebunden mit wenig Kornüberstand (unten)

- ausreichende, prozesssichere Verschleißbeständigkeit.

In *Bild 2* werden die im technischen Detail optimierbaren Faktoren und ihre Wechselwirkungen exemplarisch zusammengefasst. In Einzelnen sind Fragestellungen hinsichtlich Korneigenschaften, Bindung und Porosität untersucht und umgesetzt worden:

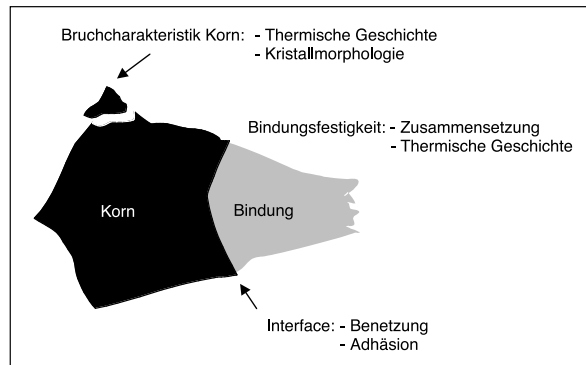
### Korneigenschaften

Die Auswahl der Kristallqualität beeinflusst das Verhalten des keramisch gebundenen Abrichtwerkzeuges signifikant. Beim Einsatz der Diamantqualitäten sind folgende Einflussgrößen zu beachten:

- Schneid- und Verschleißverhalten gegenüber dem CBN,
- Oberflächenstruktur und „Verankerung“ in der keramischen Bindung,
- thermische Beständigkeit aufgrund der Wärmebehandlung zur Konsolidierung des Werkzeugs in oxidierender Atmosphäre.

Dabei ist dem erstgenannten Faktor besondere Beachtung zu schenken, da hierbei der bedeutende Unterschied zu den am Markt verfügbaren keramisch gebundenen

### 2 Parameter zur Optimierung des Systems vDD



Abrichtwerkzeugen liegt. Sowohl das Verschleißverhalten des Diamantkristalls selbst, als auch der Einfluss auf die Morphologie des gesplitterten CBN-Korns bilden den Schlüssel für ein funktionierendes Abrichtwerkzeug. Letztgenannter Punkt schränkt die Auswahl der Kristallqualitäten aus fertigungs- und prozesstechnischer Sicht massiv ein. Während in einer metallischen Bindung die Bindungsmatrix bereits als Oxidationsschutz fungiert, begünstigt gerade die offene keramische Struktur die ungünstige Sauerstoffzufuhr beim notwendigen thermischen Konsolidierungsprozess.

### Bindung

Analog zur bereits im Teil 1 in der letzten Ausgabe der IDR diskutierten Bindungsentwicklung für CBN-Schleifkörper ist auch bei Abrichtwerkzeugen die Bindung relevant für den Halt der einzelnen Diamantkörner. Prinzipiell sind jedoch wesentlich kritischere Faktoren mit einigen zusätzlichen Randparametern zu beachten:

- Benetzungsverhalten der oxidischen keramischen Bindung auf dem nichtoxidischen Diamantkorn,
- chemische Reaktivität,
- Viskosität der Schmelze als Funktion der Temperatur,
- Vermeidung der Oxidation und Grafitisierung des Diamantkorns.

Die für keramisch gebundene Diamantwerkzeuge einsetzbaren Bindungen bestehen prinzipiell aus derselben Gruppe der Metalloxide

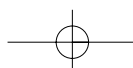
wie bei den CBN-tauglichen Bindungssystemen. Aufgrund der charakteristischen, geringen Affinität des Diamanten zu den oxidischen keramischen Bindungen ergeben sich jedoch wesentlich komplexere Verhältnisse für eine ausreichende Benetzung durch die Bindung bzw. Glasschmelze [3]. Es ist bekannt, dass Diamant schnell mit Karbidbildnern wie Fe, Co, Ni, Al, Si, B, u.a. reagiert [4, 5]. Die Benetzungsverhältnisse mit oxidischen Schmelzen sind jedoch mit Benetzungswinkeln größer 100° eher ungünstig [6]. Hinzu kommt das bereits diskutierte kritische Oxidationsverhalten und eine damit verbundene Gasentwicklung, welche den Benetzungsprozess zusätzlich behindert [7].

Noch kritischer ist der für die Konsolidierung anwendbare Temperaturbereich. Dabei ist der Werkzeughersteller sowohl mit Oxidationsphänomenen als auch einer möglichen (Re-) Graphitisierung konfrontiert [4].

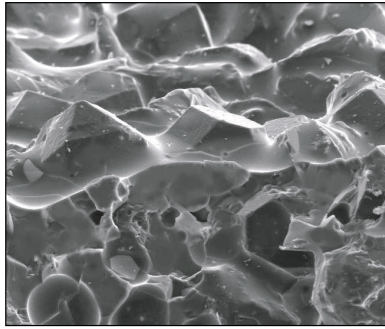
Diamant beginnt abhängig von der Korngröße, d.h. der spezifischen Oberfläche, und dem Diamantkristalltyp, bereits bei 500 bis 700 °C mit Sauerstoff wie folgt zu reagieren [4]:



Demzufolge ist der Einsatz von niedrigschmelzenden keramischen Bindungen nötig, welche wiederum die Möglichkeit der Variation der mechanischen Eigenschaften der Bindung selbst stark limitieren. Der alternative Einsatz eines Schutzgases zur Vermeidung der Diamantoxidation ist aufgrund der Bindungszusammensetzungen nicht umsetzbar.

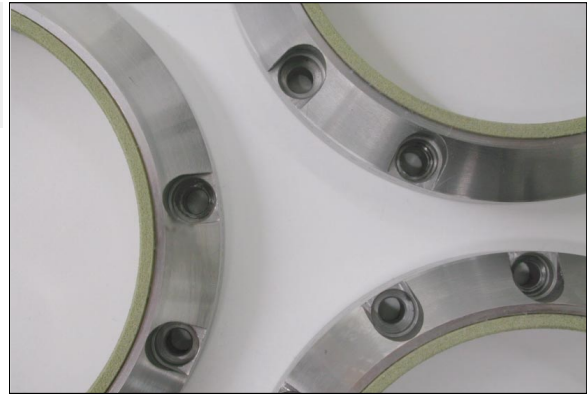


## Werkzeug-Technologie



3 REM-Aufnahme einer vDD-Struktur (200x). Struktur mit sphärischen Poren (untere Bildhälfte) und Oberfläche mit optimal benetzten Körnern bei gleichzeitig hohem Kornüberstand (obere Bildhälfte)

4 vDD-Werkzeuge zum Abrichten von Innenrundsleifkörpern – innenliegender Belag



Im Rahmen der vDD-Technologie wurde daher unter Einführung eines Niedrigtemperatur-Konsolidierungsprozesses in Verbindung mit einem durch den gezielten Zusatz von synthetischen Metalloxiden optimierten Benetzungsverhalten, die Kornhaftung soweit optimiert, dass die für erfolgreiche Abrichtprozesse nötigen Diamantkristallqualitäten benetzt und gebunden werden können.

### Porosität

Im Vergleich zum keramisch gebundenen Schleifkörper ist die Porosität bei der neuentwickelten Abrichtwerkzeuggeneration eher reduziert. Dabei ist ein Ausgleich

zwischen Verschleißfestigkeit und Konditionierbarkeit des Abrichtwerkzeugs selbst zu finden. Verglichen mit den traditionellen metallgebundenen Abrichtwerkzeugen handelt es sich jedoch um hochporöse Strukturen. Das Gefüge eines ausgewählten vDD-Werkzeuges zeigt *Bild 3*.

### Anwendungsbeispiele

Die vDD-Werkzeuge werden heutzutage in Serienprozessen sowohl als Abrichttöpfe auf kleinen Turbinen, als auch als Abrichtscheiben mit innen- oder außenliegendem Diamantbelag eingesetzt.

*Bild 4* zeigt einen Abrichttring mit innenliegendem Belag. *Bild 5* zeigt

eine exemplarische Anordnung für ein Werkzeug mit außenliegendem Belag.

Die *Tabelle 1* stellt anhand von zwei Anwendungsbeispielen die praktischen Erfolge der neuen Abrichtwerkzeuggeneration beim Einsatz unter Produktionsbedingungen im Vergleich zu etablierten Werkzeugen dar.

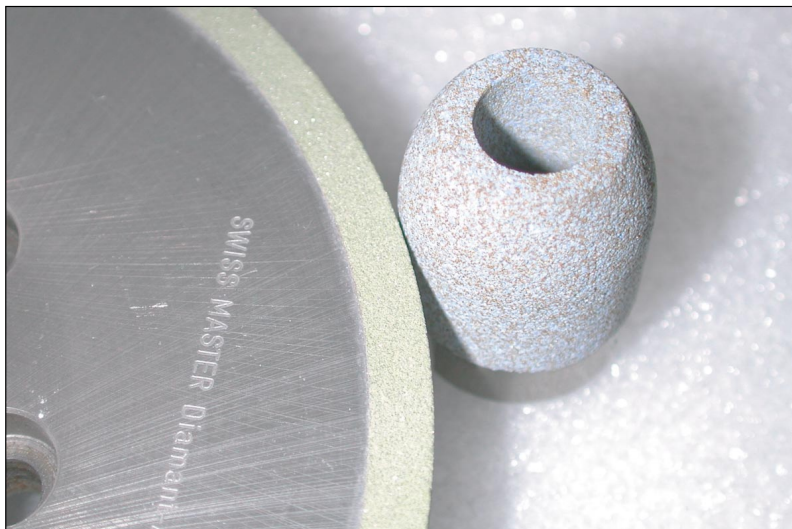
Damit hat der Einsatz der ersten Generation der vDD-Abrichtwerkzeuge in der Praxis die Erwartungen weit übertrafen. Erste Prototypen wurden bereits kurzfristig erfolgreich in Serienprozesse überführt.

Es konnte bestätigt werden, dass das Konditionieren/Nachsetzen, welches bei metallgebundenen Abrichtwerkzeugen zwingend erforderlich ist, unterbleiben kann. Damit entfällt die kostenintensive Unterbrechung des Bearbeitungsprozesses durch einen Wechsel bzw. die Bearbeitung der Abrichtwerkzeuge.

Zusätzlich wurde durch die verbesserte Struktur des abgerichteten CBN-Sleifkörpers auch die Werkstückgeometrie (Konizität einer Bohrung) verbessert und die Neigung zu Schleifbrand reduziert.

Die Verschleißbeständigkeit moderner keramischer Abrichtwerkzeuge ermöglicht die hochpräzise Profilierung von Schleifkörpergeometrien, solange ein Linienkontakt zwischen beiden Systemen vorliegt. Das CNC-gesteuerte Abfahren feinsten Profile mit nur punktueller Berührung bleibt zur Zeit noch die Domäne metallgebundener Abrichtwerkzeuge. Zukünftige Ent-

5 vDD-Werkzeug zum Abrichten von Innenrundsleifkörpern – außenliegender Belag



## Werkzeug-Technologie

<b>vDD-Anwendung 1: Abrichten von Innenrundscheifkörpern – Abrichtring mit innenliegendem Belag</b>		
Anwendung	Bohrung und Ventil Sitz	
Schleifwerkzeug	Swiss Master Vit CBN IGA 143° CB5-500-Q-9-260-200-V55-32	
Abrichtwerkzeug	Swiss Master Vit DIA Dresser D11-170-P-8-280-X150-V88-39-2	
Maschine	UVA	
<b>Resultat</b>	<b>Meister vDD</b>	<b>Metallisch geb. Abrichter</b>
Standzeit	110.000 Teile	50.000 Teile
Formfehler nach Schleifkörperwechsel	keine	10 Teile Einlauf
Geometrie (Konizität) am Werkstück	< 1 µm	< 1 µm
Rauheit R <sub>z</sub> (Bauteil)	0,5 bis 1 µm	0,6 bis 1,1 µm
<b>vDD-Anwendung 2: Abrichten von Innenrundscheifkörpern – Abrichttopf</b>		
Anwendung	Mini Lash Adjuster	
Schleifwerkzeug	Swiss Master HPB CBN IG CB21-230-R-9-185-175-V55-P71-31	
Abrichtwerkzeug	Swiss Master Vit DIA Dresser DC D11-170-T-6-330-150-V86-39-2	
Maschine	Voumard	
<b>Resultat</b>	<b>Meister vDD</b>	<b>Metallisch geb. Abrichter</b>
Abrichtintervall	120	120
Schärfintervall des Abrichtwerkzeuges	- (selbstschärfend)	wöchentlich (bei 3-Schichtbetrieb)
Standzeit	35.000 Zyklen	9.000 Zyklen (nicht prozesssicher, Glättung der CBN-Scheibe)
Geometrie (Konizität) am Werkstück	< 2 µm	bis 5 µm

wicklungen werden eine Übertragung der vorteilhaften Eigenschaften der vDD-Werkzeuge auch in diesem Bereich ermöglichen.

### Zukunftsperspektiven

Im Bereich der Abrichtwerkzeuge ist der erste Schritt in eine neue Zukunft durch die vDD-Abrichtwerkzeuge bereits erfolgt. Die in der letzten Ausgabe der IDR dargestellte HPB (High-Performance-Bond)-Technologie zeigt – angewandt auf Diamant-Schleifwerkzeuge – ebenfalls erste Erfolge. Im Bereich des Werkzeugschleifens von Hartmetall und Keramikmaterialien sowie der Bearbeitung von Wafer-Materialien wie Si, SiC,

Saphir, GaAs u.a. können bereits in Kürze neue Lösungen vorgestellt werden.

Vergleicht man die Entwicklung der Marktanteile der Bindungssysteme für CBN und Diamant, so ist beim CBN seit langem eine fortschreitende Verlagerung zugunsten der keramischen Bindung bei Hochleistungsschleifprozessen zu beobachten.

Aufgrund der o.g. technologischen Hürden in der Anwendung von Diamant in keramischen Bindungen hat diese Kombination einen vergleichsweise geringen Marktanteil. Ist die Optimierung jedoch analog zum CBN gelungen, so ist das große Potenzial dieser Systeme leicht zu erahnen.

**Tabelle 1: Die neuen Abrichtwerkzeuge haben in der Praxis alle Erwartungen weit übertroffen**

### Literatur

- [1] o.N. Grundlagen der Abrichttechnik, Schleifen + Polieren 1, 2003, S. 36.  
 [2] Beyer, P. Hochproduktives Schleifen mit keramisch gebundenen Superabrasives Teil 1: Die HPB-Technologie für Vit-CBN-Schleifwerkzeuge, IDR Industrie Diamanten Rundschau Nr. 4, 2004, S. 344.  
 [3] Kuroshima, Y.; Kondo, Y.; Okada, S. Development of Vitrified Diamond Grinding wheel for Engineering Ceramics, Yogyo-Kyokai-Shi 93, No 9, 1985, S. 587.  
 [4] Gardinier, C. F. Physical Properties of Superabrasives, Cer. Bul., Vol. 67, No. 6, 1988, S. 1006.  
 [5] Wedlake, R. J. Diamond Synthesis, IDR Industrial Diamond Review, Ausgabe Juni 1977, S. 196.  
 [6] Procyk, B.; Staniewicz-Brudnik, B.; Majewska-Albin, K.; Zawada, A.; Bieniarz, P.; Höhne, D. Aluminoborosilicate Glasses as Vitrified Binders for Superhard Grinding Tools – Selected Physico-Chemical Properties, Interceram 49, No. 5, 2000, S. 308.  
 [7] Eustathopoulos, N.; Brevet, B. Interaction at Non-Reactive Metal/Ionocovalent Oxide Interfaces, Proc. 2nd International Conference HTC -97, Krakow, Poland, 1997, S. 35.

**Bildnachweis:** Verfasser.

Dr.-Ing. Peter Beyer ist Leiter Technik, F+E, Produktion und in dieser Funktion Mitglied der Geschäftsleitung bei der Meister Abrasives AG, Andelfingen, Schweiz.