

Hochproduktives Schleifen mit keramisch gebundenen Superabrasives

Teil 1: Die HPB-Technologie für Vit-CBN-Schleifwerkzeuge

P. Beyer

Die ständig steigenden Anforderungen bezüglich des Leistungsvermögens von Bearbeitungsprozessen, insbesondere in der kostensensitiven Automobil- bzw. Automobilzulieferindustrie, zwingen Anwender und Hersteller von Schleifwerkzeugen zur Entwicklung neuer Werkzeugkonzepte. In der folgenden Beitragsreihe soll die Vorgehensweise und erfolgreiche Umsetzung dieses kontinuierlichen Innovationsprozesses am Beispiel keramisch gebundener CBN- und Diamantschleifwerkzeuge vorgestellt werden. Dabei wird deutlich, wie nur durch die Optimierung aller entscheidenden Faktoren des Gesamtsystems „Schleifwerkzeug“ eine neue Werkzeuggeneration entwickelt werden konnte. Teil 1 dieses Beitrages konzentriert sich auf die Vorgehensweise zur Entwicklung der neuen HPB- (High-Performance-Bond) Technologie für CBN-Schleifwerkzeuge, und soll dabei dem interessierten Leser aufzeigen, welche Parameter durch den Werkzeughersteller im Einzelnen zu berücksichtigen sind.

Der Einsatz keramisch gebundener CBN- und Diamantschleifwerkzeuge erfolgt seit ca. 25 Jahren erfolgreich und mit stetig steigendem Marktanteil. Grundlage des Erfolges des inzwischen wichtigsten Bindungssystems für CBN liegt in den hervorragenden Schleifeigenschaften dieser zumeist porösen Strukturen. Möglich ist dieses aufgrund der guten Profilier- und Abrichtbarkeit, den hervorragenden Verschleißigenschaften und den hohen erzielbaren Zerspanvolumina [1].

Der Aufbau der Schleifscheibe in keramischer Bindung lässt sich klassisch in einem Dreistoffsystem

durch die folgenden Elemente charakterisieren:

- das Schleifmittel (bzw. dessen chemische und physikalische Eigenschaften),
- die Bindung,
- das Gefüge.

Die Herstellung der Schleifmittelkörnungen liegt in der Regel nicht in der Kompetenz der Schleifkörperproduzenten. Zahlreiche Anbieter bieten hierzu ein in Qualität und Eigenschaften weites Spektrum an.

Die keramischen Bindungen sind die wesentliche Schlüsseltechnologie des Werkzeugherstellers. Diese

werden gewöhnlich aus Fritten, Feldspat, Kaolin und verschiedenen Tonen aufgebaut. Die gebrannten Bindungen enthalten überwiegend folgende Kationen: Al^{3+} , Fe^{3+} , Ti^{4+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} und Na^{+} , seltener auch Li^{+} . Moderne Bindungssysteme sind aus gesundheits- und anwendungstechnischen Gründen frei von Blei.

Die chemischen und physikalischen Eigenschaften ergeben sich letztendlich aus der Rohstoffkombination, den eingesetzten Korngrößen und der thermischen Behandlung, d.h. dem Brand [2].

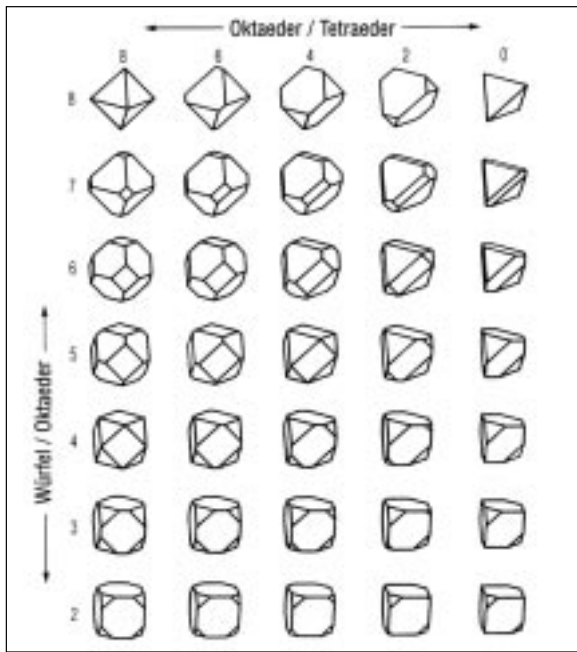
Das Gefüge resultiert aus dem Verhältnis der Volumenanteile Schleifkorn (bei CBN/Diamant in der Regel noch einem Sekundärkorn), Bindungsanteil und dem verbleibenden Porenvolumen [3 bis 5].

Zielvorgabe für eine neue Schleifwerkzeuggeneration ist es, die einzelnen Faktoren und ihre Wechselwirkungen zu optimieren, um die Gesamtvariabilität des Dreistoffsystems deutlich zu erhöhen, und damit Kostensenkungen beim Anwender zu erzielen.

Die HPB-Technologie

Das im Folgenden vorgestellte Entwicklungsergebnis der HPB-Technologie für keramisch gebundene CBN-Schleifscheiben stellt ein vielversprechendes Konzept mit dem Potenzial eines deutlichen Pro-

Metall



1 Mögliche CBN-Kristallstrukturen [6]

duktivitätsgewinns für den Anwender vor.

Dabei lassen sich mit dem neuen Bindungssystem folgende Faktoren in variabler Gewichtung prozessspezifisch optimieren:

- Reduzierung des Schleifdrucks und damit verbesserte Werkstückgeometrie,
- Erhöhung der Abrichtintervalle,
- Verbesserung der Prozesszeiten.

Insbesondere für die Anwendung im Innenrundscheifen und den dabei vergleichsweise großen auftretenden Kräften [5] ist jede Ver-

besserung bezüglich des Schleifdrucks hinsichtlich Zerspanleistung und Werkstückgeometrie äußerst vorteilhaft.

Die einzelnen Komponenten des Dreistoffsystems einer keramisch gebundenen CBN-Schleifscheibe sind dabei hinsichtlich Korneigenschaften, Bindung und Porosität detailliert untersucht worden.

Korneigenschaften

Der fortschreitende Bruch des CBN-Schleifkorns und die Generierung neuer Schneidkanten ist ein wichtiger Faktor zur erfolgreichen Bearbeitung eines Werkstücks [7].

Dabei werden die materialspezifischen Korneigenschaften bereits durch die Wärmebehandlung im Rahmen des keramischen Fertigungsprozesses in ihren grundlegenden Eigenschaften modifiziert. Diesen Effekten wurde zur Verbesserung der Schneideigenschaften im Rahmen der HPB-Technologie besonders Rechnung getragen.

Dabei sind folgende Charakteristika zu beachten und entsprechend bei der Zusammensetzung der HPB-Spezifikationen gezielt gewichtet worden.

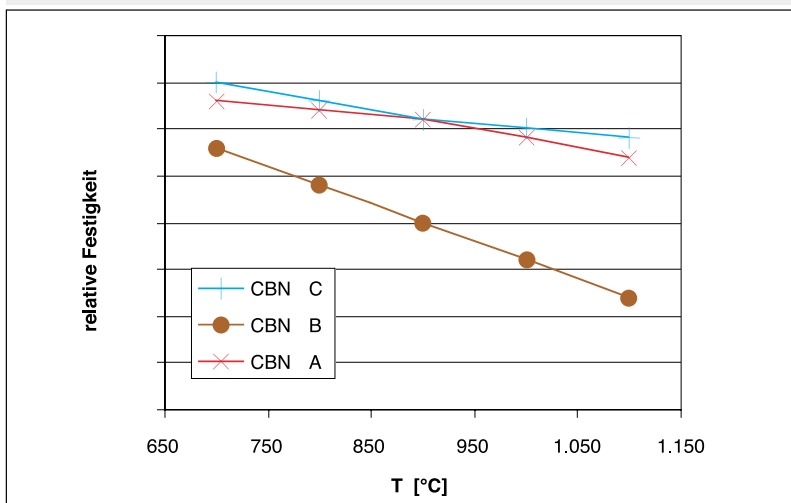
Die Kristallmorphologie ist bestimmend für die physikalischen, thermischen sowie chemischen Eigenschaften des CBN-Korns [8]. Daraus resultieren als Funktion der thermischen Vorgeschichte eine entsprechende Bruchfestigkeit sowie Splittergröße. Beide Faktoren beeinflussen nachhaltig die Schneideigenschaften des gesamten Werkzeuges. Einen Überblick über die möglichen CBN-Kristallstrukturen gibt Bild 1.

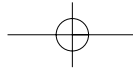
Nachfolgende Abbildungen zeigen exemplarisch für verschiedene Korntypen, welchen Effekt eine Wärmebehandlung auf die Bruchcharakteristik des CBN-Korns hat. Dabei werden mögliche Wechselwirkungen mit der Bindung zunächst vernachlässigt.

Da jede keramisch gebundene CBN-Schleifscheibe einer Wärmebehandlung ausgesetzt wird, kommt diesem Prozessschritt auch bei der Bindungsentwicklung und den erforderlichen Temperaturen zur Konsolidierung besondere Bedeutung zu. In Bild 2 wird dargestellt, dass sich die Festigkeit eines CBN-Korns, abhängig vom (Kristall-) Typ und der Temperatur, deutlich verändern kann. Die Reduktion der Festigkeit korreliert jedoch nicht zwangsläufig mit einer reduzierten Splittergröße der unterschiedlichen CBN-Kristallmorphologien nach einer Wärmebehandlung und Belastung. Beide Effekte dürften neben dem Kristalltyp auch durch qualitativ und quantitativ unterschiedliche Einschlüsse (Katalysatorreste aus der Synthese) bedingt sein.

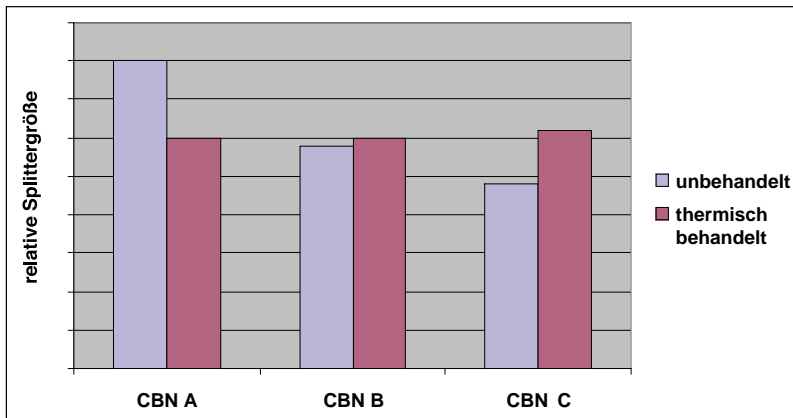
Bild 3 zeigt exemplarisch drei in der HPB-Technologie eingesetzte CBN-Typen, und den Einfluss der

2 Relative Festigkeit für drei repräsentative CBN-Qualitäten nach einer Wärmebehandlung bei verschiedenen Temperaturen





Metall



3 Splittergröße für drei repräsentative CBN-Qualitäten nach einer Wärmebehandlung bei verschiedenen Temperaturen

thermischen Vorgeschichte auf die durchschnittliche Splittergröße unter Belastung. Ein Einsatz, wie vom Hersteller geliefert, zeigt eine von Typ A zu C fallende Splittergröße. Eine Wärmebehandlung bei einer repräsentativen Brenntemperatur einer keramischen Bindung im Bereich von 800 bis 1.000 °C kann durch die thermischen Einflüsse diese Verhältnisse invertieren. Dementsprechend sorgfältig ist die Auswahl für den Anwendungsfall beim Kunden in Kombination mit der optimalen Bindungstechnologie zu treffen, und bei weitem nicht alle CBN-Qualitäten sind damit aus fertigungstechnischer Sicht des Werkzeugherstellers einsetzbar.

Bindung

Die keramische Bindung als Matrixmaterial ist verantwortlich für den Halt der Schleifkörnung, idealerweise bis zum vollständigen Verschleiß des Schleifkorns.

Dabei sind die Festigkeit der Bindung selbst sowie die Grenzfläche zwischen Korn und Bindung die entscheidenden Eigenschaften.

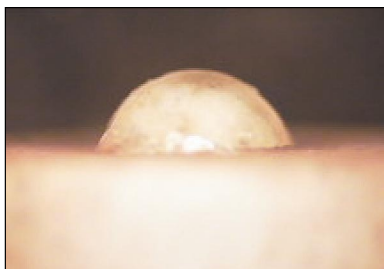
Folgende Faktoren sind bei der Bindungsentwicklung zu beachten:

- Benetzungsverhalten der keramischen Bindung auf dem CBN sowie die Reaktivität der Glasschmelze mit dem CBN,
- Viskosität der Schmelze als Funktion der Temperatur,

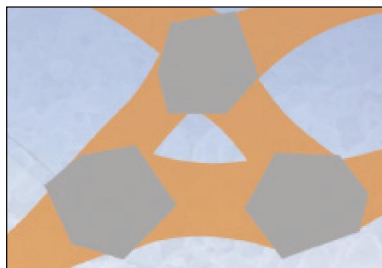
- kontrollierte chemische Reaktion zur Erzielung einer B₂O₃-freien Grenzfläche (das reine Oxidationsprodukt des CBN in oxidierender Atmosphäre wäre wasserlöslich und würde damit beim Einsatz unter Emulsion zum katastrophalen Versagen der Grenzfläche führen),
- Erhöhung der Festigkeit und Bruchzähigkeit zur Auslegung hochporöser Strukturen und/oder Verbesserung der Verschleißbeständigkeit.

Bild 4 zeigt einen Benetzungsversuch, der vergleichend eine Standardbindung (Bild 4, oben), und die HPB-Bindung (Bild 4, unten), auf einer dem CBN-Korn ähnlichen Oberfläche zeigt. Deutlich zu erkennen ist die wesentlich bessere und doch gleichmäßige Benetzung des repräsentativen Substrats durch die HPB-Technologie. Die Eigenschaften der Bindung können dabei durch den Einsatz entsprechender Metalloxide anwendungsspezifisch ausgelegt werden. Neben der besseren Benetzung wird dadurch auch die erhöhte Festigkeit der HPB-Bindung selbst erzielt. Dieses wiederum erweitert den Spielraum bei der anwendungsspezifischen Gewichtung zwischen freischneidenden Eigenschaften und Verschleißbeständigkeit.

4 Benetzungsversuch: Ungünstige Benetzung (oben) und Benetzung der CBN-äquivalenten Oberfläche mit der HPB-Bindung (unten)



5 Gefüge einer CBN-Schleifscheibe etablierter Zusammensetzungen (oben) und Gefüge einer nach HPB-Technologie gefertigten Schleifscheibe (unten)

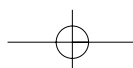


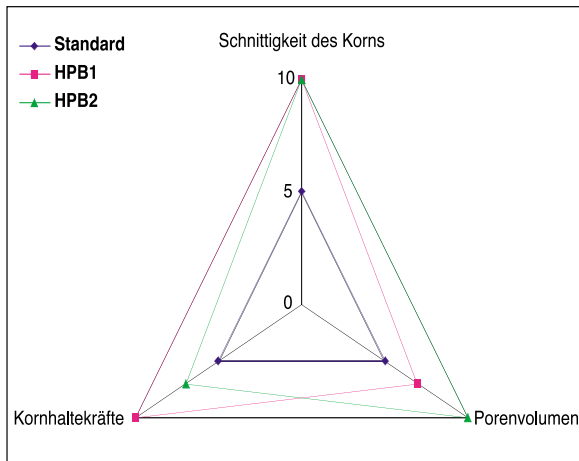
Porosität

Die Kombination aus verbesserten Kornhaltekräften und höherer Bindungsfestigkeit erlaubt damit die Erzeugung offenerer Strukturen, welche sich auf den Schleifdruck positiv auswirken. Bild 5 stellt den Effekt auf das Gefüge der Schleifscheibe exemplarisch dar.

Gezielte Einstellung der Produkteigenschaften

Mit Hilfe der HPB-Technologieentwicklung ist es durch gezielte Optimierung der einzelnen Faktoren gelungen, die Variabilität des gesamten Systems zu vergrößern und so die Faktoren Schleifdruck sowie Verschleißbeständigkeit des Werkzeuges zu verbessern. Die Gewichtung kann in einem breiten Spektrum individuell zur Lösung der Schleif-





6 Prinzipielle Auslegungsmöglichkeiten mit der HPB-Technologie

aufgabe optimiert werden. Das Prinzip ist in Bild 6 noch einmal anschaulich zusammengefasst.

Werden für eine etablierte Standardzusammensetzung eine mittlere Schnittigkeit, Porenvolumen und Kornhaltekräfte angenommen, so lassen sich neben der generellen Verbesserung aller drei Parameter beim HPB-Prinzip die Vorteile stärker zugunsten der Kornhaltekräfte (Bild 6, HPB 1) und damit der Verschleißfestigkeit, oder alternativ des Porenvolumens und damit eines Schleifprozesses mit reduziertem Schleifdruck (Bild 6, HPB 2), gewichten.

■ Anwendungsbeispiele

Tabelle 1 zeigt zwei typische Anwendungsbeispiele, die die praktischen Erfolge der neuen Werkzeuggeneration beim Einsatz unter Produktionsbedingungen im Vergleich zu etablierten Werkzeugen veranschaulichen.

Aufgrund reduzierter Zykluszeiten, Schleifmittelkosten und Umrüstzeiten sowie deren Auswirkungen auf die Stückkosten sind erhebliche Produktivitätsgewinne zu erzielen. Zudem kann auch die Bearbeitungsqualität deutlich verbessert werden.

Tabelle 1: Zwei typische Anwendungsbeispiele des Innenschleifens zeigen die Potenziale der HPB-Technologie hinsichtlich Zykluszeit, Abrichtintervall und Bearbeitungsqualität

Werkstück	Mini Lash Adjuster		Käfigfenster	
	Meister Standard	Meister HPB	Meister Standard	Meister HPB
Werkstoff	SAE 1010, 58 HRC		SAE 8617, 60 HRC	
Schleifoperation	Innenschleifen Ø 12 x 20		Innenschleifen	
Schnittgeschwindigkeit	45 m/s		60 m/s	
Schleifwerkzeug	Swiss Master Vit CBN HPB CB21-230-R-9-185-175-V55-P71-31		Swiss Master Vit CBN HPB CB111-140-L-10-170-150-V55-31	
Maschine	Voumard		Nova	
Zykluszeit	25 s	20 s	50 s	44 s
Geometrische Abweichung	< 2 µm	< 1 µm	i. O.	i. O.
Abrichtintervall	15 St.	120 St.	15 St.	60 St.

Die systematische Weiterentwicklung und die daraus für die keramische Bindungstechnologie zu erahnenden Potenziale dürften das weitere Wachstum dieser Schleifwerkzeugkategorie zukünftig noch mehr beschleunigen.

■ Die Zukunft

Hat sich die HPB-Technologie beim Innenrundscheifen in zahlreichen Anwendungen im Produktionsschleifen bereits sehr bewährt, so werden zur Zeit auch Applikationen im Doppelschleifen, Superfinishen und Außenrundscheifen getestet.

Als weiteres Entwicklungsziel soll die umfassende Analyse und Weiterentwicklung des Gesamtsystems Schleifkörper auf den Bereich der keramisch gebundenen Diamantwerkzeuge übertragen werden.

In der folgenden Ausgabe werden in Teil 2 die Eigenschaften neuer Konzepte zum Abrichten mit keramisch gebundenen Diamantwerkzeugen vorgestellt.

Literatur

- [1] Bailey, M. W.; Juchem, H. O. Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten von ABN 800, IDR Industrie Diamanten Rundschau Ausgabe 2, 1996.
- [2] Schoppenhauer, G. Keramische Schleifscheiben, Handbuch der Keramik 1975.
- [3] Schneider, A. Die Schleif- und Poliermittel-Industrie, Hadert-Lexikon-Verlag 1961.
- [4] Padberg, H. J. Aufbau und Bindungsmatrix hochbeanspruchter keramisch gebundener Zerspanwerkzeuge, cfi/Ber. DKG 70 11/12 (1993).
- [5] Jürgenhake, B. Kostenvorteile beim Innenschleifen, Zwf 73 (1978) 10.
- [6] N.N. Prospektmaterial der Firma Element Six Ltd., Shannon Irland.
- [7] Stokes, R.J.; Valentine, T. J. Wear Mechanisms of ABN Abrasive, IDR Industrial Diamond Review Ausgabe 1, 1984.
- [8] Bailey, M. W.; Hedges, L. K. Die Kristallmorphologie von Diamant und ABN, IDR Industrie Diamanten Rundschau Ausgabe 3, 1995.

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.