

## IDR Archiv

### Ausgabe 4/2002 - Charakterisierung von keramisch gebundenen cBN-Schleifscheiben

Der Artikel beschreibt die Arbeiten zu der Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Charakterisierung von keramisch gebundenen cBN-Schleifscheiben. Aufgrund des Umfangs der durchgeführten Arbeiten wurde der Artikel in zwei Teile getrennt. Teil 1 des Artikels wurde in der Ausgabe 03/2002 in der Industrie Diamanten Rundschau beschrieben, Teil 2 ist im Folgenden zu lesen.

*F. Klocke; T. Merbecks*

Die Untersuchungen beim Einzelkornausbruchverfahren haben gezeigt, dass es prinzipiell möglich ist, keramisch gebundene cBN-Schleifscheiben anhand der neu entwickelten Auswertemethode zu charakterisieren. Trotz der Ergebnisse, die bei der Entwicklung der neuen Auswertetechnologie beim Einzelkornausbruchverfahren erzielt wurden, existieren weiterhin Defizite. Dies ist zum einen die Bedienerabhängigkeit des Verfahrens, weil die Hartmetallspitze vor dem Korn ausgerichtet werden muss, zum anderen ist der zeitliche Aufwand z.B. gegenüber dem Grindo-Sonic-Prüfverfahren hoch. Um diese Defizite zu beseitigen, wurde ein neues Verfahren entwickelt, das nachfolgend beschrieben wird.

#### Ritzprüfung

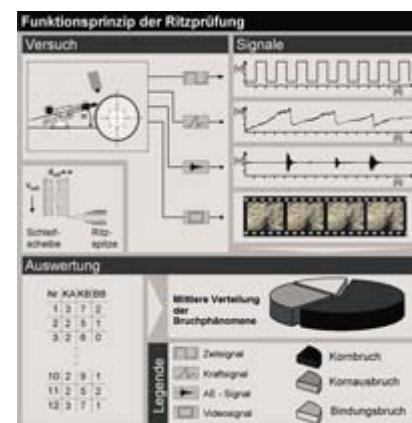
Die neu entwickelte Auswertetechnologie wurde auf ein Verfahren übertragen, das auf dem Prinzip einer Ritzprüfung basiert. Das Ritzprüfverfahren eliminiert die vorhandenen Einschränkungen des Einzelkornausbruchverfahrens. Während beim Einzelkornausbruchverfahren sehr schwierige und aufwändige Einstellarbeiten zur Justierung der Hartmetallspitze auf die einzelnen Körner notwendig sind, entfallen diese bei der Durchführung des Ritztests, was sowohl den zeitlichen Aufwand reduziert als auch die benutzerabhängigen Einstellungen der Hartmetallspitze eliminiert. Im weiteren Verlauf sind das Funktionsprinzip der Ritzprüfung, die sich daraus ableitenden Anforderungen und die für die Funktion des Ritzprüfstandes notwendigen Einstellparameter beschrieben. Die Bewertung und Beschreibung der Ergebnisse der Ritzprüfung schließen sich an die allgemeine Beschreibung des Ritzprüfstandes an.

#### Funktionsprinzip der Ritzprüfung

Im Gegensatz zum Funktionsprinzip des Einzelkornausbruchverfahrens wird die Schleifscheibe nach einmaliger manueller Ritzzustellung  $a_{eR}$  der Hartmetallspitze mit einer Ritzgeschwindigkeit  $v_{faR}$  an der Hartmetallspitze vorbei geführt. Dabei kommt es entlang der Schleifscheibenbreite zu einer Vielzahl von Bruchphänomenen. Eine generelle Abfolge der Signale bei der Ritzprüfung ist in Bild 1 dargestellt.

#### Konstruktive Anforderungen an den Ritzprüfstand

Da es sich bei der Ritzprüfung um einen Vorgang handelt, bei dem innerhalb von 40 s circa zehn bis zwölf Einzelbruchphänomene erfasst und identifiziert werden müssen, existieren hohe Anforderungen an den Ritzprüfstand hinsichtlich einer Minimierung möglicher Störsignale. Diese Störsignale können bei der Ritzprüfung grundsätzlich sowohl durch die axiale Vorschubbewegung entlang der Schleifscheibe als



*Bild 1* Abfolge der Signale bei der Ritzprüfung

auch durch die Umgebung entstehen und auf den Ritzprüfstand übertragen werden. Zur Vermeidung zusätzlicher Störsignale ist für die Vorschubeinheit des Ritzprüfstandes eine hohe Steifigkeit gefordert. Bei einer zu hohen Nachgiebigkeit des Gesamtsystems erfolgt eine starke Verfälschung der tatsächlich durch Bruchvorgänge generierten AE- und Kraftsignale.

Die hohe Steifigkeit ist notwendig, um die durch die Verformung auftretenden Störsignale bei der Auswertung auf ein Minimum zu reduzieren. Die Verformung resultiert aus der Verspannung der Ausbruchspitze gegenüber dem Prüfkörper oder der zu prüfenden Schleifscheibe.

Verformungen, die dazu führen, dass zusätzliche Signale generiert werden, die nicht auf Bruchvorgänge an der Schleifscheibe zurückzuführen sind, können beispielsweise durch unzulässiges "Rucken" in Linearführungen zustande kommen. Weiterhin ist durch die gegenüber dem Einzelkornausbruch veränderte Vorschubbewegung die Kraft-, AE- und Videosignalanalyse dem geänderten Anwendungsfall anzugleichen. Für die Qualität der generierten AE- und Kraftsignale ist es von entscheidender Bedeutung, dass die Ankoppelstellen der einzusetzenden Sensoren möglichst nah an der Stelle liegen, an der die Signale generiert werden. Im vorliegenden Falle ist dies die Ausbruchspitze. Eine erweiterte Anforderung an das Ritzprüfverfahren gegenüber dem Einzelkornausbruchverfahren liegt im Bereich der Kraftmessung. Während beim Einzelkornausbruchverfahren lediglich eine Messung der Kraft in radialer Richtung der Schleifscheibe erfolgt, ist bei der Ritzprüfung eine zusätzliche Messung der Kraft in Richtung der Rotationsachse der Schleifscheibe erforderlich. Dazu wurde ein 1-Komponenten Piezo-Messquarz durch einen 3-Komponenten Piezo-Messquarz ersetzt. Die konstruktive Realisierung der Ankoppelstellen für AE- und Kraftsensor ist in Bild 2 dargestellt.



*Bild 2 Ankopplung des AE- und Kraftsensors*

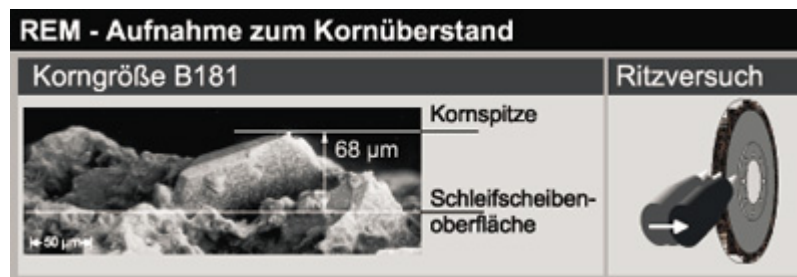
Neben der maximalen Steifigkeit des Gesamtsystems und dem optimalen Signalfluss ist die Schwingfestigkeit des Gesamtsystems wichtig. Bei der Konstruktion des Ritzprüfstands war zu beachten, dass dieser gegenüber äußeren Schwingungen isoliert ist, die das auszuwertende, hochfrequente AE-Signal beeinflussen. Dieser Anforderung wurde dadurch Rechnung getragen, dass das Gesamtgewicht des Prüfstands durch Ausgießen der vier Stahlhohlprofilfüße mit Zement deutlich erhöht wurde, was die Standfestigkeit des Systems vergrößert. Darüber hinaus sind diese vier Füße auf Schwingungsisolatoren gestellt worden, die zudem hochfrequente Schwingungen isolieren.

### **Einstellparameter bei der Ritzprüfung**

Im Anschluss an die grundlegende Konstruktion des Ritzprüfstandes mit der Festlegung des Funktionsprinzips für die Ritzprüfung wurden die gegenüber dem modifizierten Einzelkornausbruchverfahren zusätzlichen Einstellparameter Ritzzustellung  $a_{eR}$  und die

axiale Ritzgeschwindigkeit  $v_{faR}$  festgelegt. Da bei der Durchführung der Ritzprüfung eine Vielzahl von Signalen in schneller Folge aufgenommen werden müssen, wurden die nachfolgend beschriebenen Überlegungen durchgeführt.

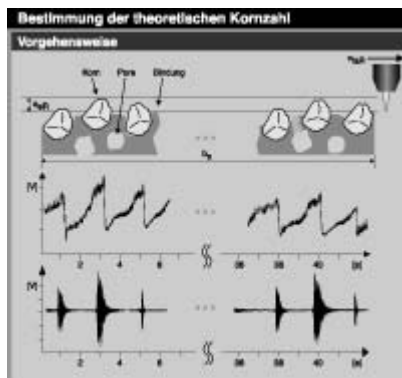
Die Festlegung der Zustelltiefe  $a_{eR}$  stützt sich auf Aussagen von Schleifscheibenherstellern und REM-Untersuchungen von keramisch gebundenen cBN-Schleifscheiben. Der freie Kornüberstand wird mit circa 1/3 der eingesetzten Korngröße angegeben. Diese Aussage konnte anhand von eigenen Untersuchungen bestätigt werden. In Bild 3 ist die Oberfläche einer B181 D V180 Schleifscheibenspezifikation dargestellt. Die eingezeichnete Niveaulinie für die Oberfläche und die Spitze des betrachteten cBN-Korns untermauern die zuvor getroffene Aussage hinsichtlich des Kornüberstands.



**Bild 3** REM-Aufnahme zum Kornüberstand

Damit auch bei der Körnung B91 eine Zustellung des Ritzwerkzeugs im Bereich des aus der Bindung herausragenden Kornanteils erfolgen kann, wurde die Ritzzustellung  $a_{eR}$  auf 30 µm festgelegt. Für den Antastvorgang wurde die zu testende Schleifscheibe solange an der Hartmetallspitze in axialer Richtung vorbeigeführt, bis anhand des AE-Verstärkers ein Kontakt detektiert werden kann. Ausgehend von diesem Kontaktpunkt erfolgt außerhalb der Schleifscheibe daraufhin die einzustellende Ritzzustellung  $a_{eR}$ . Auf diese Weise kann eine exakte Positionierung der Spitze realisiert werden, die reproduzierbare Versuchsbedingungen hinsichtlich der Zustellung für die unterschiedlichen zu testenden Schleifscheibenspezifikationen garantiert. Neben der zuvor beschriebenen Ritzzustelltiefe  $a_{eR}$  ist der Einstellparameter Ritzgeschwindigkeit  $v_{faR}$  für die Durchführung der Ritzuntersuchungen zu berücksichtigen. Dieser Einstellparameter bestimmt bei der Ritzprüfung die Dauer und die Qualität der Prüfung in entscheidender Weise. Für die Bestimmung der axialen Ritzgeschwindigkeit gilt es, das Optimum zwischen minimaler Prüfdauer und maximaler Signalauflösung festzulegen. Die Durchführung der Voruntersuchungen bei der Inbetriebnahme des Ritzprüfstandes als auch die Ritzprüfung für die unterschiedlichen keramisch gebundenen cBN-Schleifscheibenspezifikationen wurden an der Spezialschleifscheibe, die auch bei den Untersuchungen zum modifizierten Einzelkornausbruchverfahren zum Einsatz kam, durchgeführt. Diese Schleifscheibe hat eine Belagbreite von 15 mm. Ausgehend von einer ideal besetzten Schleifscheibe mit einer mittleren Körnung von 252 µm und einer Kornvolumenkonzentration V240, befindet sich auf der Belagbreite von 15 mm eine Anzahl von circa 15 Körnern. Diese Anzahl resultiert aus folgenden Überlegungen: Die Konzentrationsangabe einer keramisch gebundenen cBN-Schleifscheibe entspricht nach Herstellerangaben [1] dem zehnfachen Wert des prozentualen Kornvolumenanteils am Gesamtelagvolumen. Bei der Betrachtung einer Fläche von 15 mm Länge und 252 µm Höhe sowie einer Kornkonzentration V240 müsste in dieser Fläche theoretisch eine Anzahl von circa 15 Körnern liegen.

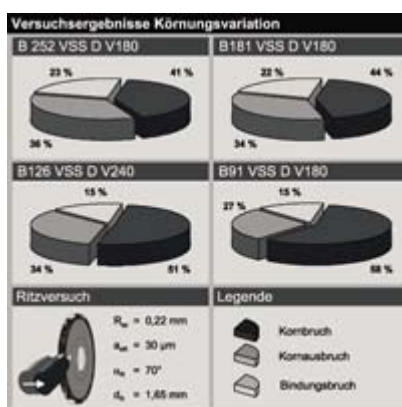
Zur Verdeutlichung der Annahmen sind die wichtigsten geometrischen Zusammenhänge in Bild 4 dargestellt. Ausgehend von diesen Überlegungen ist diese Anzahl bei



**Bild 4** Bestimmung der theoretischen Kornanzahl



**Bild 5** Qualitative Darstellung des Verlaufs einer Ritzprüfung



**Bild 6** Versuchsergebnisse Körnungsva-riation (Ritzversuch)

einer cBN-Kornkonzentration von V240 als minimale Anzahl der in einer Linie des Ritzwerkzeugs liegenden cBN-Körner anzusehen. Bei einer entsprechenden Abnahme der Körnung auf B91 erhöht sich die Anzahl der in einer Linie des Ritzwerkzeugs liegenden Körner bei gleicher Kornkonzentration auf circa 45. Bezogen auf die Auswertung der Kraft- und AE-Signale bedeutet das, dass die Erfassung der Messdaten bei allen zu untersuchenden Spezifikationen realisierbar sein muss. Die Untersuchungen nach der Inbetriebnahme des Ritzprüfstandes haben gezeigt, dass die Ritzzustellung  $a_{eR} = 30 \text{ }\mu\text{m}$  eine Auswertung der Einzelsignale ermöglicht, die der neu entwickelten Auswertetechnologie für die Einzelkornausbruchversuche entspricht. Damit ist eine einheitliche Auswertung der unterschiedlichen Schleifscheibenspezifikationen sichergestellt. Die Ritzgeschwindigkeit wurde -die Auflösefähigkeit des Systems für die Signalauswertung betrachtend- für alle nachfolgenden Versuche auf den Wert  $v_{faR} = 30 \text{ mm/min}$  festgelegt.

#### Durchführung von Ritzprüfungen

Zur Charakterisierung einer Schleifscheibenspezifikation wird die Schleifscheibe circa zwölf Mal an der Hartmetallspitze in der jeweiligen Ritzzustellung  $a_{eR}$  mit der Ritzgeschwindigkeit  $v_{faR}$  vorbeigeführt. Dabei werden circa 100 Bruchphänomene aufgenommen, was der Anzahl der analysierten Bruchvorgänge beim modifizierten Einzelkornausbruchverfahren entspricht. In Bild 5 ist ein qualitativer Verlauf der Ritzprüfung dargestellt. Durch Anwendung der neu entwickelten Auswertetechnologie ist es auch bei der Ritzprüfung möglich, die aufgenommenen Bruchphänomene in die Bereiche Kornbruch, Bindungsbruch und Kornausbruch zu kategorisieren. Dadurch kann, im Gegensatz zum Einzelkornausbruchverfahren, in einem deutlich kürzeren Zeitraum die gleiche Anzahl an Signalen benutzerunabhängig aufgenommen und ausgewertet werden. Die Auswertung erfolgt ebenfalls analog zu den Einzelkornausbruchverfahren in Form eines schleifscheibenspezifischen Verteilungsprofils. Die Durchführung der Versuche und die Versuchsergebnisse sind nachfolgend beschrieben.

#### Versuchsdurchführung an cBN-Schleifscheiben Variation Körnung-Ritzprüfung

Wie bereits bei den Einzelkornausbruchversuchen wurden auch bei den Ritzuntersuchungen systematische Versuche zur Variation der Körnung, Bindungshärte und Kornkonzentration durchgeführt. Eine Zusammenstellung der Ergebnisse zur Variation der Körnung ist in Bild 6 dargestellt.

Die Variation der Körnung wurde zwischen 252  $\mu\text{m}$ , 181  $\mu\text{m}$ , 126  $\mu\text{m}$  und 91  $\mu\text{m}$  gewählt. Dabei wurde eine



eingehende Analyse der Einzelsignale vorgenommen. Kennzeichnend für die Ergebnisse zur Variation der Körnung sind für die drei auswertbaren Bruchphänomene eine mit abnehmender Körnung steigende Anzahl an Kornbrüchen sowie eine sinkende Anzahl an Bindungsbrüchen und Kornausbrüchen. Die Ausprägung dieser Verteilung stützt sich auf folgende Erklärung: Die gemessene Anzahl an Kornbrüchen steigt mit abnehmender Körnung von 252  $\mu\text{m}$  auf 91  $\mu\text{m}$ , da die auf eine 252  $\mu\text{m}$ -Körnung wirkenden Biegemomente zur Einleitung des Bruchphänomens deutlich höher sind als bei einer 91  $\mu\text{m}$ -Körnung. Die unterschiedliche Höhe der Biegemomente resultiert aus der unterschiedlichen Länge der Hebelarme.

### Variation Bindungshärte-Ritzprüfung

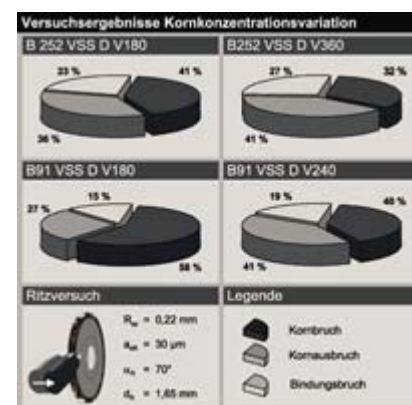
Die Ergebnisse zur Variation der Bindungshärte sind in Bild 7 dargestellt. Die hier dargestellte Verteilung der Bruchphänomene zeigt eine starke Korrelation des Bruchphänomens Kornbruch mit steigender Bindungshärte. Die relative Zunahme der Anzahl an Kornbrüchen beträgt über die dargestellte Steigerung der Bindungshärte von sechs Härtestufen 13 Prozentpunkte. Bei der Steigerung der Bindungshärte der Schleifscheibe wird es in zunehmenden Maße schwieriger, die Körner aus der Bindung herauszuberechnen oder die Bindungsbrücken zu brechen, was in einer Reduzierung der Anzahl an Bindungsbrüchen zu erkennen ist. Dieser Zusammenhang lässt sich direkt aus der Definition der Schleifscheibenhärte ableiten. In dieser wurde beschrieben, dass mit zunehmender Schleifscheibenhärte der Widerstand gegen das Herausbrechen einzelner Körner aus dem Schleifscheibenverbund steigt. Das durch das Verteilungsprofil dargestellte Verhalten der Bruchphänomene entspricht der Definition der Bindungshärte der Schleifscheibe.

### Variation Kornkonzentration- Ritzprüfung

Eine Zusammenfassung der Verteilung der Bruchphänomene in Abhängigkeit der getesteten Schleifscheibenspezifikationen ist in Bild 8 dargestellt. Bei den Versuchen zur Kornkonzentration wurden zwei unterschiedliche Varianten bei Körnungen von 252  $\mu\text{m}$  und 91  $\mu\text{m}$  untersucht. Dabei wurde bei der Körnung 252  $\mu\text{m}$  eine Veränderung der Kornkonzentration zwischen V180 und V360 vorgenommen, während die Kornkonzentration bei der Körnung 91  $\mu\text{m}$  zwischen V180 und V240 variiert wurde. Bei den Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass sich in Abhängigkeit der zu prüfenden Schleifscheibenspezifikation signifikante Unterschiede in den Ergebnissen der Analyse der jeweiligen Kraft-, AE- und Videodaten feststellen lassen.



**Bild 7** Versuchsergebnisse Bindungshärtevariation (Ritzversuch)



**Bild 8** Versuchsergebnisse Kornkonzentrationsvariation (Ritzversuch)

Die Analyse der Versuche an der Körnung B252, bei der die Kornkonzentration verdoppelt wurde, zeigte eine deutliche Zunahme an Bindungsbrüchen. Weiterhin hat eine deutliche Verringerung der Kornbrüche und eine geringe Steigerung der Kornausbrüche stattgefunden. Die Erklärung für das relative, spezifikationsabhängige Verteilungsprofil der Bruchphänomene steht in direktem Zusammenhang mit dem allgemeinen Dreistoffsystem für Schleifscheiben. Für die getestete Schleifscheibenspezifikation findet eine Volumenzunahme des Kornmaterials bei gleichzeitiger Abnahme des Bindungsvolumens statt. Das bedeutet, dass die bei einer Kornkonzentration von V180 vorherrschenden Bindungskräfte aufgrund des dabei höheren Volumenanteils höher sind als bei einer Kornkonzentration von V360.

Die Ausbildung der Bindungsstege ist dadurch bei V360 nicht mehr so stark ausgeprägt. Diese Aussage lässt sich unter folgenden Annahmen treffen: Zuerst wird davon ausgegangen, dass der Porenanteil, in Bezug auf das Dreistoffsystem, konstant bleibt. Darüber hinaus wird vorausgesetzt, dass die Ausbildung der Bindungsstege zwischen den einzelnen cBN-Körnern der Schleifscheibe direkt von der Körnung abhängig ist. Während die erste Bedingung Grundvoraussetzung hinsichtlich des Dreistoffsystems ist, ist die zweite Bedingung nicht durch bisher bekannte Messmethoden belegbar. Die Ergebnisse zur Körnung von 91 µm stehen in direkter Übereinstimmung zu denen der Körnung von 252 µm. Lediglich die absoluten Zahlenangaben bei der Verteilung der Bruchphänomene variieren, was den zweiten Teil der Annahme stützt, dass eine Änderung der Körnung zu einer Veränderung der Ausbildung der Bindungsstege führt.

### Zwischenfazit zur Ritzprüfung

Die abschließende Bewertung des Ritzverfahrens gegenüber dem bisher bekannten und von Peklenik [2] entwickelten Einzelkornausbruchverfahren ist in Bild 9 dargestellt.

Bewertung des Ritzprüfverfahrens - I										
Legende	sehr gut	++								
	gut	+								
	mittel	o								
	mäßig	-								
	schlecht	--								
			zerstörungsfreies Prüfverfahren	benutzerunabhängiges Prüfverfahren	reproduzierbare Testergebnisse	schnelles Prüfverfahren	Homogenitätslast möglich	Korrelation zwischen Test- und Schleifergebnis	anwendbar bei CBN - Schleifscheiben	anwendbar bei konventionellen Schleifscheiben
Einzelkornausbruchverfahren [2]	+	o	k.A.	--	k.A.	k.A.	++	++		
Ritzprüfung	+	++	k.A.	+	k.A.	k.A.	++	++		

*Bild 9 Bewertung des Ritzprüfverfahrens - I*

Der entscheidende Vorteil der Ritzprüfung gegenüber dem bisher bekannten Einzelkornausbruchverfahren [2] liegt beim Bewertungskriterium "Abhängigkeit vom Bediener". Während das Einzelkornausbruchverfahren ein hohes Maß an Erfahrung des Bedieners bei der Ausrichtung der Hartmetallspitze vor dem Korn erfordert, um reproduzierbare Ergebnisse zu erzeugen, ist der neue Ritztest gänzlich unabhängig vom Bediener. Ebenso wie die Abhängigkeit vom Bediener ist der hohe Versuchsaufwand beim Einzelkornausbruchtest ein sehr großer Nachteil. Das führte dazu, dass dieses Prüfverfahren in der Form, wie es in den 60er Jahren entwickelt wurde [2], nie in die allgemeine, industrielle Verwendung gelangte, wie es beispielsweise das 1968 entwickelte Grindo-Sonic-Prüfverfahren schaffte [3]. Dieser Nachteil konnte durch die Entwicklung des

neuen Ritztests eliminiert werden.

Bei dem Kriterium "schnelles Prüfverfahren" konnte durch den Ritztest gegenüber dem Einzelkornausbruchverfahren eine Verringerung der Prüfzeit um 80 % erreicht werden. Die dadurch resultierende Prüfdauer liegt damit immer noch über der des Grindo-Sonic-Prüfverfahrens. Aber im Gegensatz zum Grindo-Sonic-Prüfverfahren ist die Ritzprüfung in der vorliegenden Form auch für keramisch gebundene cBN-Schleifscheiben geeignet. Bezogen auf die Bewertungskriterien "Anwendbarkeit an konventionellen und superharten Kornmaterialien" ist der Ritztest allen bisher auf dem Markt verfügbaren Prüfverfahren überlegen. Die Untersuchungen an konventionellen Schleifscheibenprüfkörpern haben gezeigt, dass sich anhand der neuen Auswertemethode zum Grindo-Sonic-Prüfverfahren vergleichbare Ergebnisse erzielen lassen. Die Differenzierbarkeit des Ergebnisses nach der neuen Auswertemethode ermöglicht gegenüber dem Grindo-Sonic-Prüfverfahren eine verstärkte Aussagefähigkeit des Verfahrens.

Bisher wurde im Bereich der Entwicklung von Schleifscheibenprüfverfahren das Ziel verfolgt, Schleifscheiben nach dem Herstellungsprozess auf ihre Qualität zu prüfen. In vielen Fällen wurde die Qualität der Schleifscheibe über den Bindungshärtewert bestimmt, der generell über ein Verfahrensprinzip ermittelt wurde, das nicht in Übereinstimmung mit der Definition der Schleifscheibenhärte steht. Durch die Entwicklung der neuen Auswertetechnologie in Verbindung mit dem Ritzprüfverfahren wurden im Folgenden Untersuchungen durchgeführt, zu denen bisher keine Angaben gemacht werden konnten. Dazu zählen die Bewertung der Reproduzierbarkeit und der Homogenität sowie der Aufbau eines Modells von der Charakterisierungskenngröße zum Schleifergebnis.

### **Prüfung der Homogenität**

Bei der Herstellung von Schleifscheiben und insbesondere von teuren cBN-Schleifscheiben ist es von großer Bedeutung, dass die für den jeweiligen Anwendungsfall eigens optimierte Zusammensetzung der Schleifscheiben homogen auf den Umfang des Grundkörpers der Schleifscheibe aufgebracht wird. Industriell wird diese Anforderung weitestgehend durch einen sehr hohen Verfahrensaufwand realisiert. Die Homogenitätsprüfung ist eng an die Charakterisierung der cBN-Schleifscheibe gekoppelt, insbesondere bei dem neu entwickelten Ritzprüfverfahren.

### **Generelle Vorgehensweise zur Berechnung der Homogenität**

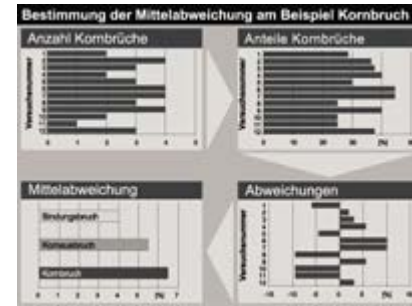
Die Prüfung der Homogenität erfolgt auf Basis der Berechnung der Mittelabweichung der einzelnen Ritzprüfung an unterschiedlichen Stellen am Umfang der keramisch gebundenen cBN-Schleifscheibe. Die Berechnung der Mittelabweichung (MA) ist, wie in nachfolgender Formel dargestellt, definiert. Sie liefert eine über mehrere Versuchsreihen gemittelte Abweichung vom Mittelwert.

$$MA = 1/n \sum(x - \bar{x})$$

Es wurde bewusst auf die Berechnung der Standardabweichung verzichtet, da sich die mathematischen Grundvoraussetzungen zur Berechnung der Standardabweichung unter den gegebenen Versuchsbedingungen nicht einhalten lassen [4]. Aus diesem Grund wird für die Berechnung der Homogenität der Messergebnisse die Berechnung der Mittelabweichung durchgeführt. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen der Standardabweichung und der Mittelabweichung ist marginal. Insofern handelt es sich bei der Berechnung lediglich um die exakte mathematische Bestimmung der Abweichung der Versuchsergebnisse.

In Bild 10 ist die generelle Vorgehensweise zur Berechnung der Mittelabweichung am Beispiel des Bruchphänomens Kornbruch dargestellt. In einem ersten Schritt, der in Bild 10 oben links dargestellt ist,

wird die Anzahl der Kornbrüche bei den durchgeführten Ritzversuchen ermittelt und tabellarisch dargestellt. Anschließend wird der relative Anteil des einzelnen Bruchphänomens, in diesem Falle des Kornbruchs, an der Gesamtheit der bei einem einzelnen Ritzversuch aufgetretenen, unterschiedlichen Bruchphänomene errechnet und in einer Tabelle dargestellt. Anhand dieser Werte wird der Mittelwert über die Anzahl der einzelnen Ritzprüfungen gebildet, der für die Berechnungen der Abweichungen notwendig ist, die im rechten unteren Bildteil von Bild 10 dargestellt sind. Der Mittelwert der Abweichungen bestimmt die Güte der Homogenität der Schleifscheibe. Der Wert Null stellt in diesem Falle die maximal mögliche Homogenität dar. Bei diesem Wert wäre der Anteil der Kornbrüche, bei allen über den Umfang der Schleifscheibe durchgeführten Ritzprüfungen, konstant und es würden keine Abweichungen entstehen.



**Bild 10** Bestimmung der Mittelabweichung am Beispiel Kornbruch

Bild 11 zeigt die Mittelabweichung für die Schleifscheibenspezifikation B126 VSS J V360 für die einzelnen Bruchphänomene Kornbruch, Bindungsbruch und Kornausbruch. Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass bei der Durchführung der Ritzuntersuchungen sehr homogene Ergebnisse erzielt wurden. Die Ergebnisse zum Bruchphänomen Kornbruch sind mit einer Mittelabweichung von 4,7 % in einem Bereich, der für die Prüfung von Schleifmitteln als sehr gering anzusehen ist. Dieser Wert ist insofern als sehr gering anzusehen, da bei acht beliebig am Umfang der Schleifscheibe durchgeführten Ritzprüfungen lediglich eine Mittelabweichung von 4,7 % für das Kornbruchphänomen festgestellt werden konnte. Anhand der vorgestellten Methode der Homogenitätsprüfung lässt sich auch die hohe Reproduzierbarkeit des Verfahrens unter Beweis stellen.



**Bild 11** Homogenitätsberechnung B64 - V360



**Bild 12** Homogenitätsberechnung B126 - V360

Bild 12 zeigt die Darstellung der Mittelabweichung der Schleifscheibenspezifikation B64 VSS J V360 für die einzelnen Bruchphänomene Kornbruch, Bindungsbruch und Kornausbruch. Die Mittelabweichung für die Schleifscheibenspezifikation B126 VSS J V360 ist geringfügig höher als bei der Schleifscheibenspezifikation B64 VSS J V360. Daraus ist abzuleiten, dass eine Verschlechterung der Homogenität vorliegt. Der Grad der Veränderung lässt sich aufgrund der angewendeten Methode quantifizierbar darstellen, woraus sich umfangreiche Rückschlüsse auf die Produktqualität ziehen lassen.



**Bild 13** Homogenitätsberechnung B126 - V450

Die Berechnung der Homogenität für die Schleifscheibenspezifikation B126 VSS J V450 ist in Bild 13 dargestellt. Auf alle drei Bruchphänomene betrachtet, liegt die Mittelabweichung in einem für die Prüfung von Schleifscheiben sehr geringen Bereich der



Streuung. Diese Resultate zeigen für die drei getesteten Schleifscheibenspezifikationen zusammengenommen die höchste Homogenität der Ergebnisse. Anhand der Berechnung der Mittelabweichung konnte gezeigt werden, dass eine quantifizierbare Prüfung der Homogenität der Schleifscheibe möglich ist. Die Berechnung der Homogenität kann nahezu ohne zusätzlichen Aufwand direkt aus den Versuchsergebnissen der Ritzprüfung durchgeführt werden und bietet neben der quantifizierbaren Schleifscheibencharakteristik auch ein quantifizierbares Maß zur Bestimmung der Homogenität.

### Zwischenfazit zur Berechnung der Homogenität

Die beschriebene Vorgehensweise zur Berechnung der Mittelabweichung ermöglicht eine quantifizierbare Darstellung der Homogenität der Schleifscheibe. Bei einer bruchphänomenbezogenen Mittelabweichung, die den Wert Null erreicht, liegen keinerlei Abweichungen in Bezug auf die Anzahl an Bruchphänomenen vor. Das würde voraussetzen, dass die Schleifscheibe für den gesamten Umfang absolut homogen aufgebaut ist. Dies erfüllt das Bewertungskriterium der Homogenitätsprüfung. Die Reproduzierbarkeit lässt sich auf die gleiche Weise quantifizierbar bewerten. Dabei kann durch die Prüfung der Reproduzierbarkeit die Güte des Verfahrens und durch die Prüfung der Homogenität die Güte der Schleifscheibe bewertet werden. Beide Bewertungsgrößen stützen sich dabei auf die gleiche mathematische Methode. Da das beschriebene Szenario so in der Realität nicht auftritt, kann der Anwender des Ritzprüfverfahren eine benutzerspezifische, quantifizierbare Kontrolle der Homogenität durchführen. Diese Möglichkeit stellt einen weiteren Vorteil der entwickelten Ritzprüfung gegenüber dem bisher bekannten Einzelkornausbruchverfahren dar. Die Bewertung der beiden Verfahren ist in Bild 14 dargestellt.

Bewertung des Ritzprüfverfahrens - II										
Legende	sehr gut	++								
	gut	+								
	mittel	o								
	mäßig	-								
	schlecht	--								
			zerstörungsfreies Prüfverfahren	benutzerunabhängiges Prüfverfahren	reproduzierbare Testergebnisse	schnelles Prüfverfahren	Homogenitätstest möglich	Korrelation zwischen Test- und Schleifergebnis	anwendbar bei CBN - Schleifscheiben	anwendbar bei konventionellen Schleifscheiben
Einzelkornausbruchverfahren [2]	+	o	k.A.	--	k.A.	k.A.	++	++		
Ritzprüfung	+	++	++	+	++	k.A.	++	++		

Bild 14 Bewertung des Ritzprüfverfahrens - II

### Fazit

Ziel der gesamten Untersuchungen, die im 1. und 2. Teil des Artikels beschrieben wurden, war die Entwicklung eines Schleifscheibenprüfverfahrens für keramisch gebundene cBN-Schleifscheiben. Aufbauend auf den vielfältigen Forschungsarbeiten, die hauptsächlich im Bereich von konventionellen Schleifscheiben dazu geführt haben, dass Schleifprüfverfahren entwickelt wurden, die industrielle Verwendung fanden, wurden im vorliegenden Artikel Forschungsarbeiten beschrieben, die eine Prüfung der keramisch gebundenen cBN-Schleifscheibe nach dem Herstellungsprozess ermöglichen.

Bei der Entwicklung des Prüfverfahrens wurde den besonderen Eigenschaften der keramisch gebundenen cBN-Schleifscheibe in erhöhtem Maße Rechnung getragen. Die meisten Prüfverfahren für konventionelle Schleifscheiben nutzten die Bestimmung des Bindungshärtekennwerts als Charakterisierungskenngröße. Aus diesem Grund wurden im

Vorfeld dieser Forschungsarbeiten unterschiedliche Möglichkeiten geprüft, die neben anderen Charakterisierungsmerkmalen auch den Bindungshärtekennwert der Schleifscheibe ermitteln können. Die Ermittlung des Bindungshärtekennwerts sollte dabei die besondere Definition der Schleifscheibenhärte einschließen. Das größte Potenzial bei der Bewertung der Prüfverfahren lag, für die beschriebenen Anforderungen, beim schon bekannten Einzelkornausbruchverfahren. Aufbauend auf den Erkenntnissen des Einzelkornausbruchverfahrens wurde dieses Verfahren modifiziert.

Neben der bereits bekannten Kraftmessung beim Einzelkornausbruchverfahren wurden zusätzlich AE- und Videosignale aufgenommen. Die Aufnahme der drei Signale sollte die Nachteile der alleinigen Kraftmessung eliminieren. Durch die Analyse der Kraft-, AE- und Videosignale konnten in Verbindung mit der neu entwickelten Auswertemethode, die einzelnen Bruchphänomene Kornbruch, Bindungsbruch und Kornausbruch detektiert werden. Damit gelang es bei der Durchführung von umfangreichen, systematischen Untersuchungen beim modifizierten Einzelkornausbruchversuch an cBN-Schleifscheiben spezifikationsabhängige Verteilungsprofile der drei verschiedenen Bruchphänomene zu detektieren. So wurde beispielsweise bei der Variation des Schleifscheibenparameters Bindungshärte eine Zunahme des Bruchphänomens Kornbruch bei Steigerung der Bindungshärte nachgewiesen. Dieser Nachweis steht in direkter Korrelation zur Definition der Schleifscheibenhärte.

Parallel zur Entwicklung der neuen Auswertetechnologie für das Einzelkornausbruchverfahren wurde die Konstruktion eines neuen Prüfstands durchgeführt, der eine Anwendung der neuen Auswertetechnologie ermöglicht und dabei die für eine Ritzprüfung notwendigen konstruktiven Anforderungen erfüllt. Im Anschluss an die Konstruktion des neuen Ritzprüfstands wurden, wie schon beim Einzelkornausbruchverfahren, umfangreiche Untersuchungen an zahlreichen Schleifscheibenspezifikationen durchgeführt. Bei diesen Untersuchungen zeigte sich, dass sich die für das Einzelkornausbruchverfahren entwickelte Auswertemethode optimal für die Analyse der Ritzprüfung nutzen lässt. Die Untersuchungen zeigten, dass bei den getesteten keramisch gebundenen cBN-Schleifscheibenspezifikationen ebenfalls spezifikationsabhängige Verteilungsprofile der Bruchphänomene festgestellt werden konnten, die eine quantifizierbare Einteilung der getesteten Schleifscheiben ermöglicht.

Die im Rahmen dieses Artikels beschriebene Entwicklung eines Charakterisierungsverfahrens für keramisch gebundene cBN-Schleifscheiben hat gezeigt, dass die gewonnenen Erkenntnisse dazu genutzt werden können, dieses Verfahren industriell zur Prüfung der Schleifscheiben nach dem Herstellungsprozess einzusetzen. Dabei bietet das Verfahren das Potenzial eine bedienerunabhängige, quantifiziert reproduzierbare und schnelle Prüfung von keramisch gebundenen cBN-Schleifscheiben durchzuführen.

### **Danksagung**

Die in diesem Artikel veröffentlichten Ergebnisse stammen zum größten Teil aus dem DFG-Projekt "Charakterisierung von keramisch gebundenen cBN-Schleifscheiben auf Basis der Kraft- und Schallemissionsanalyse". Diese Arbeit wurde dankenswerter Weise aus DFG-Mitteln unter der Projektnummer KI-500/ 16-1/2 finanziert.

### **Literatur**

- [1] N.N. Firmenschrift, Ernst Winter & Sohn, Diamantscheiben, Hamburg, 1988
- [2] Peklenik, J. Untersuchungen der Härte von Schleifkörpern. Industrie-Anzeiger, Essen, 1960, S. 431-436
- [3] Peters, I.; Snoeys, A.; Decneut, A. Sonic Testing of Grinding Wheels. Advances in Machine Tool Design and Research (2), Oxford, 1968, S. 1113-1114
- [4] Solonin, I. S. Statistik in der Technologie. VEB Verlag Technik, Berlin, 1965

Bildverzeichnis: Verfasser.

Professor Dr.-Ing. Fritz Klocke ist Inhaber des Lehrstuhls für Technologie der Fertigungsverfahren am WZL und Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnologie IPT.

Dipl.-Ing. Thomas Merbecks ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am WZL.

[<< zurück zu Artikeln Ausgabe 4/2002](#)

[Artikel](#) | [News](#) | [Termine](#) | [Archiv](#) | [Vorschau](#) | [Index](#) | [FAQ](#) | [Links](#) | [Info](#) | [Hilfe](#)