

## **IDR Archiv**

### **Ausgabe 3/2002 - 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 wird der Artikel in zwei Teile getrennt. Teil 1 des Artikels ist in dieser Ausgabe beschrieben, Teil 2 dieses Artikels wird in der Ausgabe 04/2002 erscheinen.**

*F. Klocke; T. Merbecks*

Ein hoher Automatisierungsgrad und steigende Qualitätsanforderungen in der Fertigung erfordern insbesondere bei Endbearbeitungsverfahren wie dem Schleifen eine hohe Prozesssicherheit. Dies erfordert wiederum eine hohe Gleichmäßigkeit der Werkzeugeigenschaften. Streuungen bei der Qualität von Schleifwerkzeugen können instabile Prozessbedingungen und starke Abweichungen von den zu erwartenden Prozessergebnissen verursachen. Darüber hinaus führen sie zu nicht reproduzierbaren Werkzeugstandzeiten. Verfahren zur Prüfung der Eigenschaften und der Qualität von Schleifscheiben sind notwendige Voraussetzung zur Reduzierung der im Schleifprozess möglichen Prozessschwankungen.

Während für konventionelle Schleifscheiben Prüfverfahren verfügbar sind und industriell eingesetzt werden, existieren für Schleifwerkzeuge mit superharten Schleifmitteln aus cBN und Diamant keine aussagefähigen Verfahren. Für cBN-Schleifwerkzeuge mit keramischer Bindung, die aufgrund ihres breiten Anwendungsspektrums und der vergleichsweise einfachen Einsatzvorbereitung zunehmend Anwendung finden, ist ein leistungsfähiges Verfahren zur Eigenschaftsprüfung und Qualitätskontrolle von besonderem Interesse. Das Ziel der nachfolgend beschriebenen Arbeit war es, ein industriell einsetzbares Prüfverfahren zu entwickeln, das eine Charakterisierung von keramisch gebundenen cBN-Schleifscheiben ermöglicht. Die Vorgehensweise zur Entwicklung und Verifizierung des Prüfverfahrens ist in folgende Abschnitte gegliedert. Aufbauend auf Ergebnissen wissenschaftlicher Arbeiten zur Prüfung von Schleifscheiben, ist die Prüfung durch das Einzelkornausbruchverfahren, als grundlegendes Funktionsprinzip des zu entwickelnden Prüfverfahrens, unter Einsatz einer neuen Auswertetechnologie für Anwendungen an superharten Schleifmitteln zu qualifizieren.

Die Verifikation der Aussagefähigkeit der Prüfung durch das Einzelkornausbruchverfahren ist auf seine industrielle Anwendbarkeit hin zu überprüfen. Die daraus ableitbaren Erkenntnisse sind für die Entwicklung (Ritzprüfung) des Prüfaufbaus und -ablaufs zu nutzen. An die theoretische Ableitung des Funktionsprinzips und der konstruktiven Umsetzung des Ritzprüfverfahrens schließt sich die Durchführung von Ritzversuchen an cBN-Schleifscheiben an.

#### **Stand der Technik**

Die wesentlichen Charakterisierungsmerkmale einer Schleifscheibe sind die Körnung, die Bindungshärte und die Kornkonzentration. Diese drei Parameter stellen neben der eingesetzten Bindung, dem verwendeten Grundkörper und Kornmaterial die eigentlichen Variationsparameter der Schleifscheibe für die unterschiedlichen Schleifanwendungen dar. Ein zu entwickelndes Schleifscheibenprüfverfahren muss die Möglichkeit bieten, diese drei Variationsparameter durch signifikante Unterschiede bei der Analyse der Prüfsignale anzuzeigen. Im Nachfolgenden werden die, für die Entwicklung des neuen Prüfverfahrens, relevanten Prüfverfahren dargestellt und abschließend vergleichend anhand von Bewertungskriterien analysiert.

### **Verfahren zur Charakterisierung von Schleifscheiben**

Zur Qualitätssicherung bei der Herstellung von Schleifscheiben existieren zwei unterschiedliche Möglichkeiten. Zum einen muss der Herstellprozess der Schleifscheiben überwacht werden, zum anderen kann das Produkt Schleifscheibe nach der Herstellung geprüft werden. Zur Charakterisierung der Eigenschaften von Schleifscheiben eignet sich nur die letztere Alternative. Die hierbei erzielten Ergebnisse liefern unterschiedliche Informationen über absolute und vergleichende Charakteristika der Schleifscheibe. Während bei einigen Verfahren vorrangig das Ziel verfolgt wurde, die Charakteristik einer Schleifscheibe auf einen Wert zu reduzieren, gab es in den Jahren 1986 bis 2001 Forschungsaktivitäten, die Untersuchungsmöglichkeiten aufzeigten, mit denen unterschiedliche Eigenschaften, wie beispielsweise die Gefügekennzahl oder die Dichte der Schleifscheibe, ermittelt werden konnten. Durch diese Untersuchungen wurden Relationen zwischen Messgrößen aus dem Prüfverfahren und tatsächlichen Ergebnissen des Schleifprozesses aufgezeigt. Der Bereich der bisher durchgeführten Forschungsaktivitäten teilt sich in zwei Bereiche: In den Bereich der herkömmlichen Prüfverfahren, die industriell für konventionelle Schleifscheiben eingesetzt werden und den Bereich der speziellen Prüfverfahren, die auch zur Beurteilung von cBN-Schleifscheiben genutzt werden können.

### **Herkömmliche Schleifscheibenprüfverfahren**

Die Bindungshärte der Schleifscheibe, die durch den Aufbau des Schleifkörpers bestimmt wird, stellt für die herkömmlichen Prüfverfahren die Vergleichsgröße dar. Dabei tragen eine Reihe von Einflussgrößen zur Variation der Bindungshärte bei [1]. Schon 1922 wurde die Relevanz der Schleifscheibenhärte als charakteristische Beurteilungskenngröße erkannt. In diesem Zusammenhang veranlasste der Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW) eine Ausschreibung, bei dem er die Mitglieder dazu aufforderte, ein Härteprüfverfahren zu entwickeln, welches folgende fünf Bedingungen erfüllen sollte:

- Die zu untersuchende Schleifscheibe durfte bei dem Prüfverfahren nicht zerstört oder beschädigt werden.
- Es musste einwandfrei nachgewiesen werden können, welchen Grad der Härte die zu untersuchende Schleifscheibe besitzt.
- Das Prüfverfahren musste ermöglichen, die ursprünglich festgesetzte Skala mit den ermittelten Werten zu vergleichen.
- Die Prüfung der Härte musste auf mechanischem Wege erfolgen und sollte eine subjektive Beurteilung ausschließen.
- Das Prüfgerät musste für den Werkstattgebrauch eingerichtet sein [2].

Der Gesamtheit der gestellten Anforderungen wird bis heute kein bekanntes Prüfverfahren gerecht. Dieser Zusammenhang wird an dem in Bild 1 dargestellten Vergleich der bisher eingesetzten oder entwickelten Prüfmethoden deutlich. Die Kriterien, zur Beurteilung der einzelnen Prüfverfahren dienen als Pflichtenheft für das zu entwickelnde Prüfverfahren. Die in Bild 1 dargestellte Beurteilung der relevanten Prüfverfahren zeigt, dass bisher kein Prüfverfahren zur Verfügung steht, das die zuvor beschriebenen Kriterien in ihrer Gesamtheit zufriedenstellend erfüllt. Besonders defizitär für die Anwendbarkeit bei cBN-Schleifscheiben ist es, dass die vorhandenen Verfahren weder zerstörungsfrei noch schnell anwendbar sind.

Beurteilung relevanter Prüfverfahren								
Legende	sehr gut	++						
	gut	+						
	mittel	o						
	mäßig	-						
	schlecht	--						
	zerstörungsfreies Prüfverfahren	benutzernutzuhäufiges Prüfverfahren	reproduzierbare Testergebnisse	schnelles Prüfverfahren	Homogenitätsstest möglich	Korrelation zwischen Test- und Schleifergebnis	anwendbar bei cBN-Schleifscheiben	anwendbar bei konventionellen Schleifscheiben
Zeiss - Mackensen - Prüfverfahren	--	o	+	++	-	k.A.	-	++
Grindo - Sonic - Prüfverfahren	++	o	+	++	-	k.A.	--	++
Prüfung der Biegefestigkeit	--	++	-	++	--	k.A.	--	++
CBN-Prüfverfahren nach Grabner	--	-	+	++	--	--	++	++
CBN-Prüfverfahren nach Linke	--	-/o	-/o	--	+	--	++	++
Werkstoffkundliche Beurteilung	--	-/o	-/o	--	+	++	++	++
Einzelkornausbruchverfahren	+	o	k.A.	--	k.A.	k.A.	++	++

*Bild 1 Beurteilung relevanter Prüfverfahren*

Beim Vergleich der in Bild 1 dargestellten Verfahren, kann wieder die grundsätzliche Unterscheidung zwischen den herkömmlichen und den speziellen Prüfverfahren getroffen werden. Dabei ist primär ersichtlich, dass die speziellen Prüfverfahren, wie die Methode von Linke [3], theoretisch für die Prüfung von cBN-Schleifscheiben geeignet sind, praktisch jedoch, aufgrund ihrer Verfahrenscharakteristik, keinerlei industrielle Verwendung finden. Darüber hinaus eignen sie sich, mit Ausnahme der werkstoffkundlichen Beurteilung [4], nicht für eine Korrelationsaussage zwischen den Prüf- und den daraus zu erwartenden Schleifergebnissen.

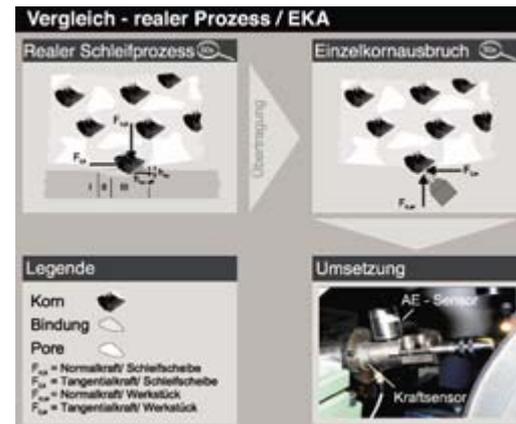
Bei der Beurteilung der herkömmlichen Prüfverfahren wird sofort deutlich, dass nahezu keines dieser Verfahren zur Charakterisierung keramisch gebundener cBN-Schleifscheiben anwendbar ist. Gegen eine Anwendung für diese Art von Prüfverfahren sprechen sowohl technologische als auch wirtschaftliche Gründe. Während das Grindo-Sonic-Prüfverfahren wegen des zugrundeliegenden Funktionsprinzips nicht für keramisch gebundene cBN-Schleifscheiben eingesetzt werden kann, scheiden das Zeiss-Mackensen-Prüfverfahren und die Prüfung der Biegefestigkeit vorrangig aus wirtschaftlichen Gründen als Prüfverfahren für keramisch gebundene cBN-Schleifscheiben aus. Darüber hinaus wurde bisher mit keinem herkömmlichen Prüfverfahren eine Korrelation der Prüfergebnisse zum Schleifprozessergebnis hergestellt. Ungeachtet dieser Zusammenhänge stellt das Grindo-Sonic-Prüfverfahren für konventionelle Schleifscheiben ein Verfahren dar, mit dem der Anwender schnell und mit einer verhältnismäßig hohen Reproduzierbarkeit - gemessen an den anderen Prüfverfahren - die Schleifscheibe hinsichtlich ihres Härtekennwerts testen kann.

Im Gegensatz zu den anderen speziellen Verfahren stellt die Prüfung durch das Einzelkornausbruchverfahren einen vielversprechenden Ansatz dar, der die Nachteile der zerstörenden Prüfung eliminiert und sowohl für cBN- als auch konventionelle Schleifscheiben prinzipiell einsetzbar ist. Die elementaren Defizite bei der Anwendung dieses Verfahrens liegen bisher jedoch in der subjektiven Beeinflussung der Messergebnisse durch den Ausrichtvorgang der Hartmetallspitze vor dem Kornmaterial und bei der Auswertung der Versuche, die eine eindeutige Identifikation der unterschiedlichen Bruchphänomene verhindert. Darüber hinaus verhindert der hohe zeitliche Aufwand der Prüfung eine breite Akzeptanz seitens der Hersteller und Anwender zur Prüfung von Schleifscheiben. Die dargestellte Beurteilung der derzeitigen Prüfverfahren zeigt die Notwendigkeit zur Entwicklung eines neuen Prüfverfahrens. Diese Entwicklung ist nachfolgend dargestellt.

### Entwicklung einer neuen Auswertetechnologie

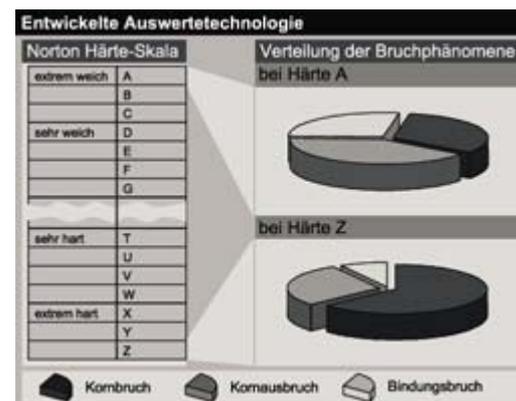
### beim Einzelkornausbruchverfahren

Der Fokus der Betrachtung bei der Entwicklung des neuen Prüfverfahrens zur Charakterisierung keramisch gebundener cBN-Schleifscheiben lag auf dem Transfer der realen Belastungen der Schleifscheibe aus dem Schleifprozess auf die Schleifscheibe bei Anwendung des Prüfverfahrens. Dazu wurden die Erkenntnisse aus den Arbeiten genutzt, die das Einzelkornausbruchverfahren zur Bewertung von Schleifscheiben einsetzt. Die Belastung, die durch die Spanbildung im realen Schleifprozess auf die einzelnen Kornschneiden wirkt, lässt sich durch das Einzelkornausbruchverfahren abbilden. Dieser Zusammenhang ist in Bild 2 dargestellt. Im Gegensatz zum bisherigen Einzelkornausbruchverfahren, bei dem lediglich die Kraft beim Bruchvorgang aufgezeichnet und analysiert wurde, werden bei der neuen Auswertetechnologie des Einzelkornausbruchverfahrens zusätzliche Signale aufgenommen, die eine detaillierte Analyse hinsichtlich der zu bewertenden Bruchvorgänge ermöglicht. Diese sind neben dem Kraftsignal zusätzlich sowohl das AE-Signal als auch das Videosignal. Im oberen Teil von Bild 2 ist die Übertragung der realen Belastung eines einzelnen Kornes der Schleifscheibe im Schleifprozess auf die Belastung des Kornes der Schleifscheibe durch das Einzelkornausbruchverfahren dargestellt. Im unteren rechten Bildteil ist die konstruktive Applikation von Kraft- und AE-Sensor abgebildet.



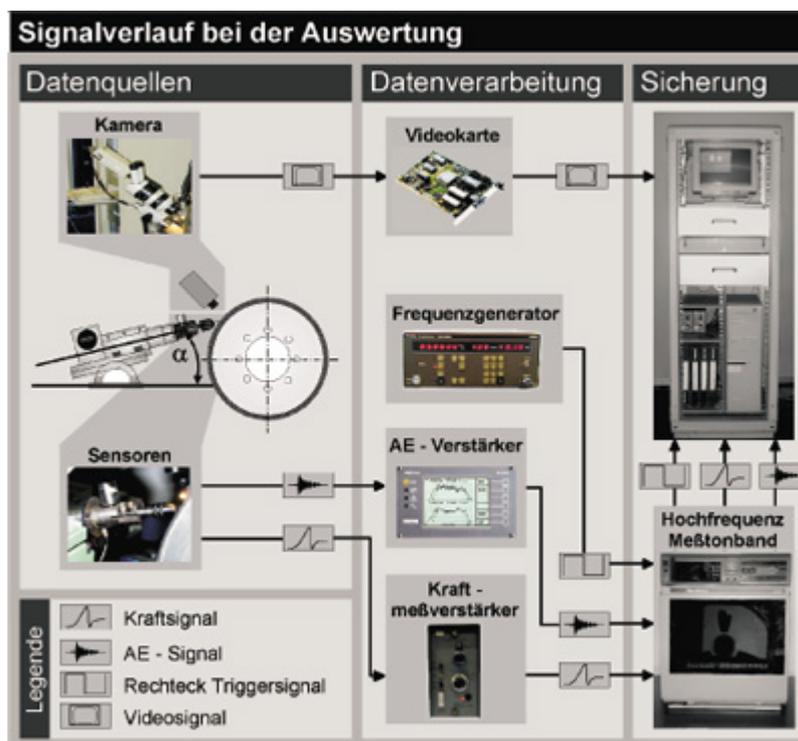
**Bild 2** Vergleich - realer Prozess/ EKA

Aufgrund der Definition der Bindungshärte ist zu vermuten, dass sich beispielsweise bei Variation der Bindungshärte, unter Verwendung des zuvor beschriebenen, modifizierten Einzelkornausbruchverfahrens, bei der Auswertung der einzelnen Versuche ein Verteilungsprofil zwischen den generellen Bruchphänomenen Kornbruch, Kornausbruch und Bindungsbruch einstellt. Bezogen auf eine Variation der Bindungshärte ist zu erwarten, dass bei einer äußerst weichen Bindung das Bruchphänomen Kornausbruch vorherrscht, während bei einer äußerst harten Bindung primär das Bruchphänomen Kornbruch auftritt. Dieser Zusammenhang steht in direkter Übereinstimmung mit der Definition der Bindungshärte der Schleifscheibe. Das beim Einzelkornausbruchverfahren entstehende Verteilungsprofil zwischen den einzelnen Bruchphänomenen wird aus einer Vielzahl von Einzelkornausbruchversuchen gebildet, um der undefinierten Schneidenanordnung der Schleifscheibe gerecht zu werden. Die zugrundeliegende Idee für die neue Auswertetechnologie ist in Bild 3 dargestellt.



**Bild 3** Entwickelte Auswertetechnologie

Durch diese Auswertetechnologie wird es erstmalig möglich, die oben genannten Bruchphänomene durch Analyse der Auswertesignale Kraft, AE und Video eindeutig zu identifizieren und sie im Anschluss an die Durchführung der einzelnen Einzelkornausbruchsversuche anhand eines Verteilungsprofils darzustellen. Dieses spezifikationspezifische Verteilungsprofil ermöglicht eine Quantifizierung der jeweils vorherrschenden Bruchphänomene [5, 6]. Im linken Bildteil ist die bisherige Einteilung der Schleifscheiben nach der Norton-Härteskala dargestellt und auf der rechten Seite die Verteilungsprofile der vorherrschenden Bruchphänomene bei Variation der Bindungshärte von der niedrigsten Härtestufe A auf die höchste Härtestufe Z. Im dargestellten Beispiel variieren zur Verdeutlichung im Wesentlichen die Bruchphänomene Kornausbruch und Kornbruch. Die unterschiedlichen Schleifscheiben werden auf Basis der neuen Auswertetechnologie anhand des schleifscheibenspezifischen Verteilungsprofils charakterisiert. Es wurde ein neuer Prüfstand entwickelt, auf dem auch der modifizierte Einzelkornausbruchversuch durchgeführt wird. Die Funktionsweise des neuen Versuchsstands ist anhand des in Bild 4 dargestellten Signalverlaufs genau beschrieben. Durch die Verwendung des neuen Prüfstandes zur Charakterisierung von Schleifscheiben, wird die Anwendung der neuen Auswertetechnologie in Bezug auf die Signalaufnahme erst möglich.



*Bild 4 Signalverlauf bei der Auswertung*

Die Durchführung von Untersuchungen nach dem Prinzip des modifizierten Einzelkornausbruchversuchs stellt bei der Entwicklung des Charakterisierungsverfahrens für keramisch gebundene cBN-Schleifscheiben lediglich einen ersten Teilschritt dar. Die prinzipiellen Nachteile, die das bisherige Einzelkornausbruchverfahren [7] besitzt, sollen im späteren Verlauf der Arbeit durch die Anwendung einer neuen Ritzprüfung eliminiert werden. Zuerst wird aber die Entwicklung der neuen Auswertetechnologie beim modifizierten Einzelkornausbruchversuch beschrieben.

Bei dem durch die Anwendung der neuen Auswertetechnologie modifizierten Einzelkornausbruchversuch bildet die Vorschubeinheit die mechanische Hauptkomponente

des neuen Versuchsstands, mit der die Hartmetallspitze unter einem Winkel  $\alpha$  in Richtung der Schleifscheibe zustellt. Im vorderen Teil der Vorschubeinheit, an der sich die Spitze befindet, ist der piezoelektrische Kraftaufnehmer in den direkten Kraftfluss der Vorschubrichtung integriert. Direkt hinter der Spitzenaufnahme und noch vor dem Kraftaufnehmer wurde der AE-Sensor appliziert. Die konstruktive Realisierung dieser Anordnung ist auf der linken Seite, Bild 4, unterhalb der Schleifscheibe dargestellt. Direkt oberhalb der Ausbruchspitze wurde eine CCD-Kamera angeordnet. Während das Videosignal über eine im Rechner integrierte Videokarte direkt analysiert werden kann, werden das AE- und das Kraftsignal - jeweils verstärkt - auf einem Hochfrequenzmesstonband aufgezeichnet und danach zur weiteren Analyse an den Auswerterechner weitergeleitet. Neben der Aufzeichnung des AE- und des Kraftsignals wird, zeitgleich zu den beiden Signalen, ein Rechtecksignal auf dem Hochfrequenzmesstonband aufgezeichnet. Durch die zusätzliche Aufschaltung des Rechtecksignals ist es möglich, das AE-, das Kraft- und das Videosignal zeitlich zu synchronisieren. In Bild 5 ist dieser Vorgang der zeitlichen Zuordnung dargestellt.

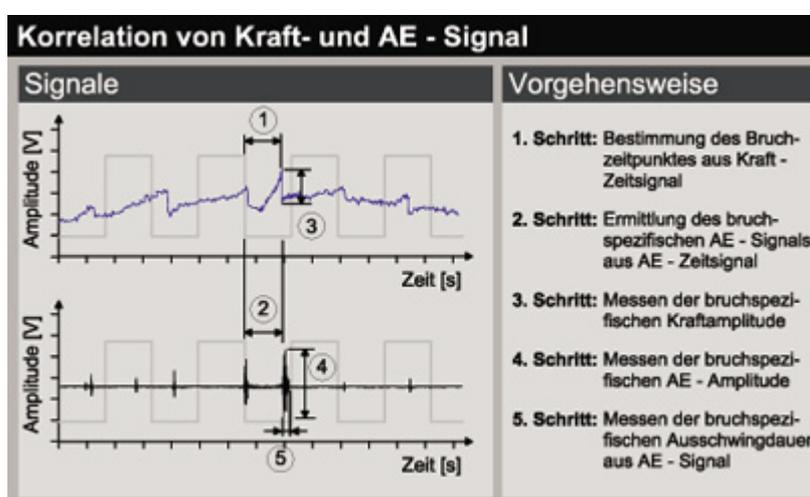


Bild 5 Korrelation von Kraft- und AE-Signal

### Versuchsdurchführung an cBN-Schleifscheiben (EKA)

Im weiteren Verlauf sind die aus der Analyse der Einzelsignale basierenden Ergebnisse in Bezug auf die eindeutige Identifikation der Bruchphänomene unter Anwendung der neuen Auswertetechnologie dargestellt. Dazu werden die einzelnen Bruchphänomene voneinander abgegrenzt, indem die Unterschiede in den Signalverläufen aufgezeigt werden und eine Analyse des Verteilungsprofils dargestellt wird. Dies geschieht auf Basis der Einzelkornausbruchversuche. Bei der Analyse der AE- und Kraftsignale wird hierzu eine Relativbewertung der Amplituden vorgenommen. Im Nachfolgenden ist das generell mit dem modifizierten Einzelkornausbruchverfahren identifizierbare Bruchphänomen Kornbruch beschrieben. Generell lassen sich durch das modifizierte Einzelkornausbruchverfahren auch die Bruchphänomene Kornausbruch und Bindungsbruch darstellen. Deren Signalverläufe in Bezug auf das AE-, Kraft- und Videosignal sind in Bild 7

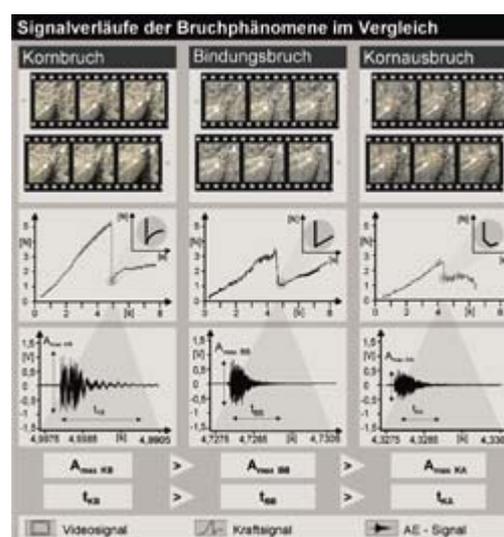


Bild 7 Signalverläufe der Bruchphänomene im Vergleich

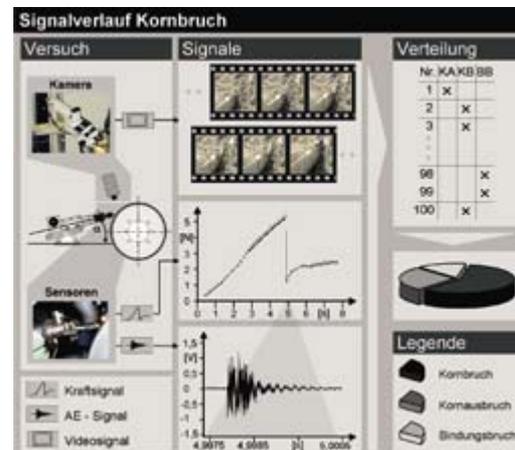
vergleichend den Signalen beim Kornbruch gegenübergestellt.

### Kornbruch

Das Bruchphänomen Kornbruch ist charakterisiert durch den Bruch des Kornmaterials in kleinere Bruchstücke. Bei diesem Vorgang steigt die Kraft linear bis zum Kornbruch, fällt dann steil ab, wonach sie zuerst degressiv und dann mit zunehmender Eindringtiefe in den Schleifbelag wieder linear steigt. Der in Bild 6 gezeigte Kraftverlauf für den Kornbruch lässt sich über die Korn/Bindungsbeschaffenheiten an der Bruchstelle erklären. Zu Beginn des Bruchvorgangs berührt die Ausbruchspitze das Kornmaterial und wird durch die Vorschubeinheit auf dieses zubewegt. Da das Korn nicht nachgibt, kann sich die Spitze nicht weiter fortbewegen. Aufgrund des konstanten Vorschubs baut sich eine linear steigende Kraft auf. Diese Kraft steigt bis auf ein Maximum kurz vor dem eigentlichen Bruchereignis. Dadurch erlangt die Kraft ein Niveau, dem das Kornmaterial nicht Stand halten kann. Es kommt zum Bruch des Kornmaterials. Dieser tritt primär dann ein, wenn das cBN-Korn schon strukturelle Schädigungen aufweist, wie zum Beispiel Fehlstellen in seiner Gitterstruktur oder Bruchstellen, die durch die mechanische Vorbehandlung des Korns eingebracht wurden.

Nachdem das Kornmaterial gebrochen ist, füllt sich die Bruchstelle mit Bruchstücken des Kornmaterials, in welche die Ausbruchspitze aufgrund des konstanten Vorschubs hineinfährt. Diese Bruchstücke sind nicht mehr fest im Schleifbelag, sondern reiben sowohl an der Spitze als auch lose aneinander. Durch die kegelförmige Geometrie der Spitze verändert sich auch mit steigendem Vorschubweg die an den Bruchstücken reibende Spitzenfläche. Bildlich ist dies mit einem Kegel zu vergleichen, der in losen Sand gedrückt wird. Die sich mit dem steigenden Vorschubweg vergrößernde Spitzenfläche und die sich daraufhin ändernden Reibungsverhältnisse ergeben den erkennbaren degressiven Kraftanstieg. Sobald die Ausbruchspitze wieder ausschließlich auf festes Kornmaterial trifft, ist der Kraftverlauf wieder linear steigend.

Aufgrund der hohen Bindungshärte beim Kornmaterial cBN von 4700 HK werden beim Bruch hohe Energien freigesetzt. Daraus ergeben sich neben hohen AE-Amplituden auch lange Ausschwingdauern. Diese Zusammenhänge stellen, in Übereinstimmung mit der Theorie zur Bewertung von AE-Signalen [8], einen Beleg für die hohen freigesetzten Energien beim Kornbruch dar. Aus dem Vergleich der einzelnen Signale bei den drei unterschiedlichen Bruchphänomenen geht eine eindeutige Differenzierbarkeit für die jeweiligen Bruchphänomene hervor. Diese Differenzierbarkeit steht in Übereinstimmung mit den existierenden Untersuchungen beim Einzelkornausbruch und der AE-Signalanalyse [8]. Sie konnte durch die zusätzliche Videodatenanalyse visuell bestätigt



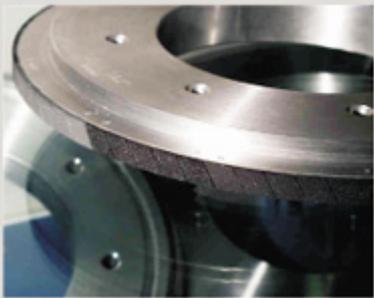
*Bild 6 Signalverlauf Kornbruch*

werden.

### Eingesetzte Spezifikationen

Aufbauend auf der entwickelten Analyseverfahren zur Identifizierung der unterschiedlichen Bruchphänomene wurden systematische Untersuchungen mit dem Einzelkornausbruchverfahren durchgeführt. Die primär für den Einsatz im Schleifprozess wichtigen Spezifikationsparameter Bindungshärte, Körnung und Kornkonzentration müssen anhand der zu entwickelnden Analyseverfahren eindeutig identifizierbar sein. Aus diesem Grund wird der Fokus der Einzelkornausbruchversuche auf die Variation dieser drei Charakterisierungsmerkmale gelegt. Zur Durchführung der systematischen Untersuchungen wurden die in Bild 8 dargestellten Spezifikationen ausgewählt, die nachfolgend für die Entwicklung des Charakterisierungsverfahrens verwendet wurden.

Bei der in Bild 8 dargestellten Schleifscheibe handelt es sich um eine Spezialschleifscheibe, auf die 8 verschiedene reale Schleifscheibensegmente auf einem Grundkörper aufgebracht wurden. Für die spätere Identifikation der einzelnen Schleifscheibenspezifikationen wurde jede Spezifikation mit einer Schlagzahl versehen. Nachdem die einzelnen Spezifikationen auf den Grundkörper aufgebracht wurden, wurde die Spezialschleifscheibe insgesamt abgerichtet, um einen einheitlichen Ausgangszustand zu erzeugen. Nachfolgend sind die Versuchsergebnisse zur Variation der Schleifscheibenspezifikationsparameter Körnung, Bindungshärte und Kornkonzentration für den modifizierten Einzelkornausbruch dargestellt. Die Versuchsergebnisse zeigen das bei den Einzelkornausbruchversuchen entstehende, spezifikationsabhängige Verteilungsprofil. Neben den Versuchsergebnissen ist eine Erläuterung zum Zustandekommen des Verteilungsprofils gegeben.

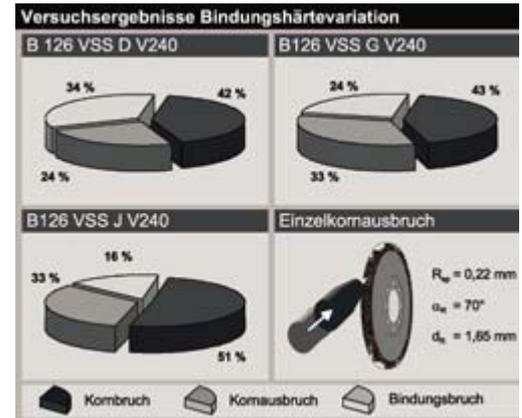
Verwendete Spezifikationen der Spezialschleifscheibe				
Spezialschleifscheibe	verwendete Spezifikationen			
	Schlag-Zahl	Korn-größe	Härte	Kornkon-zentration
	1	B252	D	V180
	2	B252	D	V360
	4	B181	D	V180
	8	B126	D	V240
	9	B126	G	V240
	10	B126	J	V240
	11	B91	D	V180
	12	B91	D	V240

*Bild 8* Verwendete Spezifikationen der Spezialschleifscheibe

### Versuchsergebnisse beim modifizierten Einzelkornausbruchversuch

Aus dem in Bild 9 dargestellten Verteilungsprofil ist ersichtlich, dass der Kornbruch mit steigender Bindungshärte signifikant zunimmt, während sich die Anzahl an Bindungsbrüchen verringert. Die Untersuchungen zur Variation der Bindungshärte haben die bedeutsamsten Unterschiede in der Verteilung der unterschiedlichen Bruchphänomene aufgezeigt. Eine Zunahme des Bindungsvolumens bei konstanter Körnung und konstantem Kornvolumen bedeutet, dass die Oberfläche der cBN-Körner bei höherer Bindungshärte stärker vom Bindungsmaterial eingebunden wird als bei

niedrigerer Bindungshärte. Dies impliziert, dass die Kornhaltekräfte gegenüber der eingeleiteten Ausbruchkraft steigen. Dieser Zusammenhang führt zu einer Zunahme der Anzahl an Kornbrüchen, da die Bindung der durch den Einzelkornausbruch eingeleiteten Kraft, eine mit zunehmender Bindungshärte steigenden Widerstand entgegengesetzt. Dieser, bei den Versuchen nachgewiesene Zusammenhang entspricht, im Gegensatz zu allen anderen bisher verwendeten Prüfverfahren zur Charakterisierung von Schleifscheiben, exakt der Definition der Schleifscheibenhärte.



**Bild 9** Versuchsergebnisse Bindungshärtevariation (EKA)

Die sich mit zunehmender Bindungshärte verringernde Anzahl an Bindungsbrüchen ist neben der primär dafür verantwortlichen reinen Bindungsvolumenzunahme vor allem bedingt durch die sich ändernde Form der Bindungsbrücken bei Steigerung der Bindungshärte. Bei Zunahme der Bindungshärte nehmen die Bindungsbrücken eine zunehmend kompaktere Form an, die dazu beiträgt, dass sich die Anzahl der Bindungsbrüche reduziert.

### Fazit

Ziel der bisher beschriebenen Untersuchungen war es, ein modifiziertes Einzelkornausbruchverfahren unter Einsatz einer neuen Auswertetechnologie für die Anwendung an superharten Schleifmitteln, im vorliegenden Fall in erster Linie an keramisch gebundenen cBN-Schleifscheiben, zu qualifizieren. Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass es aufgrund der Entwicklung der neuen Auswertetechnologie unter Verwendung des Kraft-, AE- und Videosignals beim Einzelkornausbruch möglich ist, die an der Schleifscheibe theoretisch möglichen Bruchphänomene Kornbruch, Bindungsbruch und Kornausbruch zu detektieren. Die Identifikation der einzelnen Bruchphänomene bei der Durchführung von Einzelkornausbruchversuchen ermöglicht die Erstellung eines schleifscheibenspezifischen Verteilungsprofils. Dieses Verteilungsprofil wurde anhand von umfangreichen Untersuchungen an Schleifscheibenspezifikationen, bei denen die Körnung, Bindungshärte und Kornkonzentration variiert wurden, nachgewiesen. So korrelierte, beispielsweise in Übereinstimmung mit der Entwicklung der neuen Auswertetechnologie und der Definition der Bindungshärte der Schleifscheibe, eine Zunahme der Bindungshärte mit einer Steigerung der Anzahl der Kornbrüche. Um diesen Entwicklungsschritt zu bewerten, wurden Untersuchungen mit Schleifscheibenprüfverfahren für konventionelle Schleifscheiben durchgeführt. Die Bewertung der Ergebnisse zeigte, dass die neue Auswertetechnologie beim Einzelkornausbruchverfahren nahezu identische Ergebnisse zum industriell anerkannten Grindo-Sonic-Prüfverfahren liefert. Die Ergebnisse des Einzelkornausbruchverfahrens lassen gegenüber dem Grindo-Sonic-Prüfverfahren aufgrund der Identifikation zweier Bruchphänomene eine eingehende Analyse der Schleifscheibeneigenschaften im Hinblick auf das Verhältnis der einzelnen Bruchphänomene zu. Darüber hinaus stützen sich diese Ergebnisse sowohl auf eine höhere Anzahl an Einzelversuchen als auch auf die Tatsache, dass das generelle Verfahrensprinzip gegenüber dem des Grindo-Sonic-Prüfverfahrens deutlich näher an der realen Belastung einer Schleifscheibe im Schleifprozess liegt. Trotz der Ergebnisse, die bei der Entwicklung der neuen Auswertetechnologie beim Einzelkornausbruchverfahren erzielt wurden, existieren weiterhin Defizite, die einerseits aus technologischer Sicht die Bedienerabhängigkeit des Einzelkornausbruchverfahrens durch die Ausrichtung der Hartmetallspitze vor dem Korn darstellt und andererseits aus Schleifscheibenhersteller-

und Anwendersicht im hohen zeitlichen Aufwand beispielsweise gegenüber dem Grindosonic-Prüfverfahren zu suchen sind. Aus diesem Grund schließt sich ein weiterer Schritt an die bisherigen Entwicklungen an, der im 2. Teil zu dem Thema "Entwicklung eines Charakterisierungsverfahrens für keramisch gebundene cBN-Schleifscheiben" beschrieben wird.

### Literatur

- [1] Schoppenhauer, G. Keramische Schleifscheiben. Handbuch der Keramik, Verlag Schmid GmbH, 1975.
- [2] Pahlitzsch, G. Vergleichende Härteprüfung von Schleifkörpern. Schleif- und Poliertechnik (20), 1943.
- [3] Linke, K. Kennwerte keramisch gebundener Schleifscheiben aus kubischem Bornitrid. Dissertation, TU Berlin, 1992.
- [4] Klocke, M. Einfluss des Gefüges von Edelmetallschleifscheiben auf ihre Werkstoffkennwerte und das Schleifverhalten. Dissertation, TU Berlin, 1986.
- [5] Klocke, F.; Merbecks, T. Testing methods for vitrified bonded cBN grinding wheels. Conference script: 4th International Machining and Grinding conference, Society of Manufacturing engineers, Troy, 2001.
- [6] Klocke, F.; Merbecks, T. Testverfahren für cBN-Schleifscheiben. wt - Onlineausgabe, 2001.
- [7] Peklenik, J. Untersuchung der Härte von Schleifkörpern. Industrie-Anzeiger, Essen, 1960, S. 431-436.
- [8] Meding, M. Beschreibung des Prozessgeschehens bei der Zerspanung von Gestein und dessen bruchmechanischem Verhalten unter besonderer Berücksichtigung der Schallemissionsanalyse. Dissertation, TU Hamburg-Harburg, 1993.

Bildverzeichnis: Verfasser.

### 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.

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 3/2002](#)

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