

Dr.-Ing. Peter Beyer

# Schnittig in neuer Dimension

Schleifwerkzeuge - Innenschleifen - 3D-Technologie



Industriestrasse 10  
CH-8450 Andelfingen  
+41 52 304 22 22

sales@meister-abrasives.ch  
www.meister-abrasives.ch

Sonderdruck

Schleifwerkzeuge ■ Innenschleifen ■ 3D-Technologie

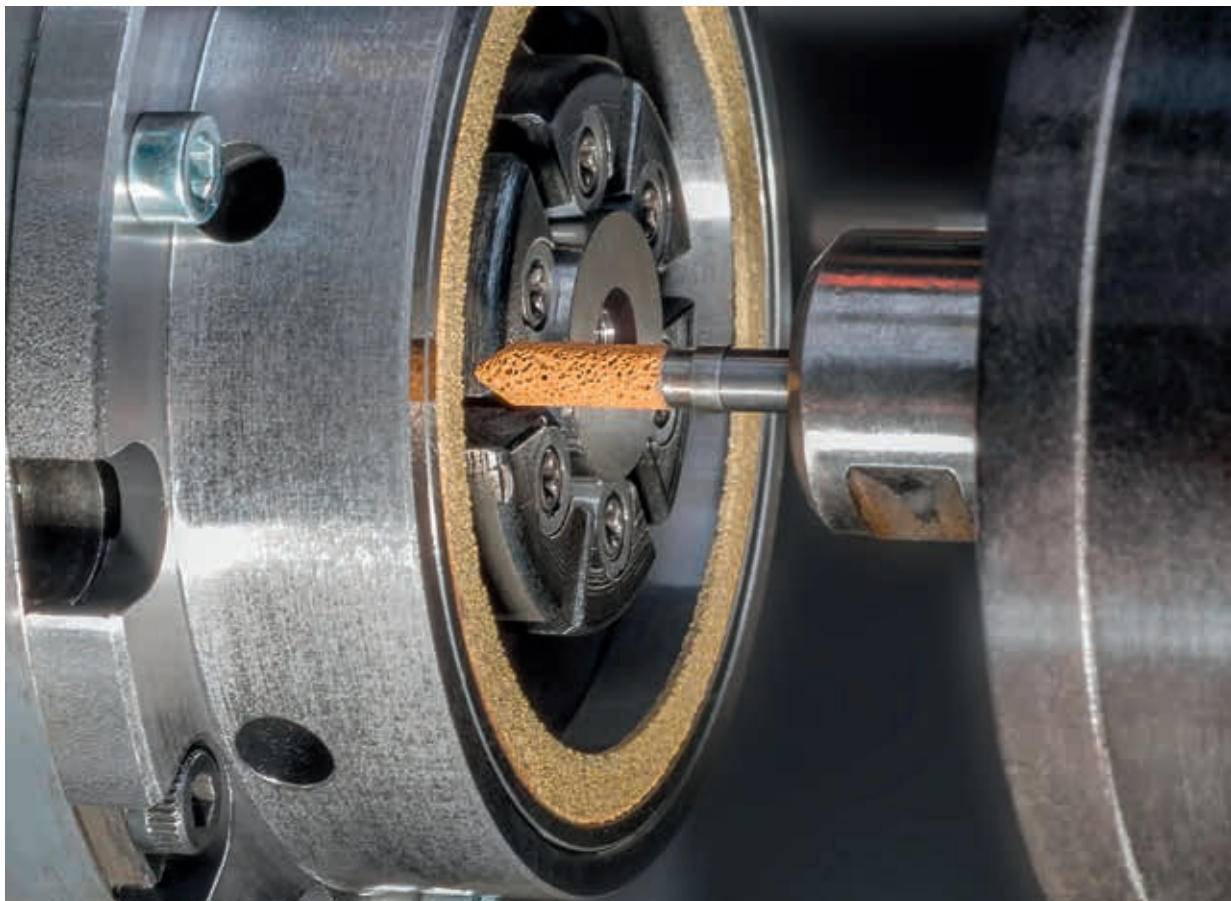
## Schnittig in neuer Dimension

Die 3D-Technologie von Meister Abrasives zur CBN-Schleifkörper-Herstellung eröffnet Anwendern neue Möglichkeiten des optimierten Innenschleifens. So lässt sich die Porosität in einem weiten Spektrum einstellen und damit dem Werkstoff und der Zielqualität anpassen.

von Peter Beyer

**1** Innovatives 3D-CBN-Schleifwerkzeug in einem Testschleifcenter zum Feinbearbeiten von Einspritzdüsen für den Motorenbau

[© Meister Abrasives]



**Z**urzeit ist ein wachsender Bedarf an neuen Konzepten zur Auslegung von Schleifwerkzeugen für die Bohrungsbearbeitung feststellbar. Dafür gibt es mehrere Ursachen. Eine zentrale Anforderung besteht darin, dass aus konstruktiven Gründen die Bohrungsdurchmesser immer kleiner werden. Eine weitere Ursache ist der zunehmende Anteil schwer

zerspanbarer Werkstoffe an der Werkstoffgesamtheit. Zudem werden die zulässigen Toleranzen für die Präzisionsbearbeitung von Bohrungen immer enger.

Das Ziel neuer Konzepte zur Schleifkörperfertigung muss die Reduktion der Schleifkräfte bei gleichzeitiger Beibehaltung der hohen Verschleißbeständigkeit im späteren Prozess sein. Die bekannten

positiven Eigenschaften keramisch gebundener CBN-Schleifwerkzeuge, ihre optimierte Auslegung in Bezug auf CBN-Typ, Härte und Porosität sowie die komplementäre Abrichttechnologie beginnen bei den etablierten Werkzeugkonzepten erkennbar an ihre Grenzen zu stoßen. Innovative Konzepte sind gefragt – zum Beispiel das der 3D-Technologie.

### 3D – ein Technologiesprung bei Werkzeugen zum Innenschleifen

Will man beim Innenschleifen werkzeugtechnische Fortschritte erzielen, so gilt es, ein hochporöses Werkzeugkonzept zu entwickeln, das in bislang nicht gekannter Variabilität die Faktoren Porenvolumen, frei skalierbare Porenradienverteilung, hohe Verschleißbeständigkeit und Einsatz feinsten CBN-Körnungen für höchste Anforderungen an die Oberflächengüte berücksichtigt. In der praktischen Anwendung ergibt sich dann im Vergleich zum heutigen Stand der Technik eine signifikante Senkung der Schleifkräfte, resultierend in einer deutlich verbesserten Bohrungsgeometrie und einer Anwendbarkeit auch bei ›weichen‹ Werkstoffen – all das ohne Kompromisse in puncto Verschleißbeständigkeit. Die fortschrittlichen Werkzeuge in 3D-Technologie (Bilder 1 und 2), wie sie der Hersteller Meister Abrasives seit Kurzem anbietet, erfüllen diese Anforderungen, wie anhand ausgewählter Beispiele etwas später gezeigt werden soll.

Die zur Herstellung von Diamant- und CBN-Werkzeugen üblichen Bindungssysteme sind grundsätzlich seit vielen Jahren, teilweise Jahrzehnten, etabliert. Im Einzelnen werden bisher als Bindungsmatrix der superabrasiven Körnungen verwendet: die Kunstharzbindung, die metallische Bindung, die galvanische und die keramische Bindung.

### Wirkliche Fortschritte gab es nur bei der keramischen Bindung

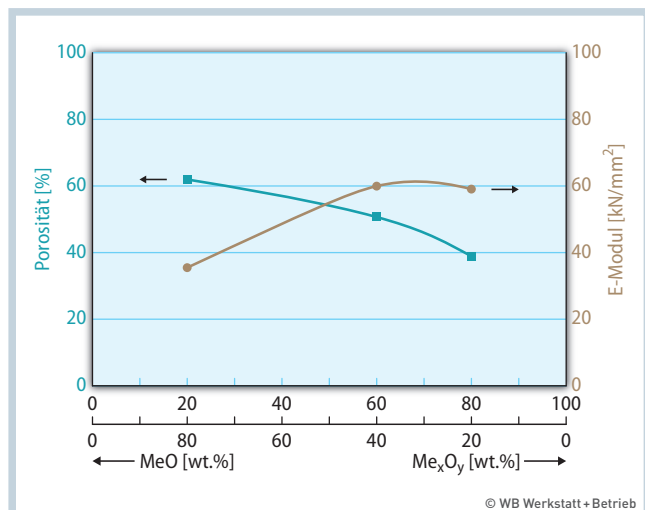
Alle Bindungssysteme sind über die Jahre schrittweise in Bezug auf Rohstoffauswahl, Anpassung der Füllstoffsysteme, Prozessparameter der Herstellung und anderes optimiert worden. Wirkliche in-



### 2 Mithilfe der 3D-Technologie erzeugter hochporöser Innenschleifkörper auf Hartmetallschaft, Korngröße B20

(© Meister Abrasives)

novative Ansätze sind jedoch nur vereinzelt realisiert worden. Lediglich bei der keramischen Bindung hat es deutliche Fortschritte durch die Entwicklung der High-Performance-Bindungen (HPB) gegeben, die bereits eine erhöhte Leistungsfähigkeit bei den Kategorien Zeitspannvolumen und Verschleißbeständigkeit ermöglichen. Die breite Einstellbarkeit der Parameter Korngröße, Konzentration, Härte und Porosität, verbunden mit der optimierten Abrichtbarkeit, haben dazu geführt, dass die keramische Bindung in der Serien-Stahlbearbeitung heute als Standard gilt [1].



### 3 Abhängigkeit der Porosität und des E-Moduls bei der 3D-Technologie vom Verhältnis der verwendeten Metalloxide zueinander

(© Meister Abrasives)

Dabei würden sich aus der nahezu stürmisch vorangehenden Entwicklung der Werkstoffsynthese durchaus Transfermöglichkeiten bieten. Berücksichtigt man die Fortschritte zum Beispiel bei Composites auf Kunstharzbasis oder die Synthese vielfältiger Metall-Keramik-Verbundwerkstoffe, so ergibt sich hier ein deutliches Potenzial für innovative Ansätze [2].

Keramisch gebundene CBN- und Diamantschleifwerkzeuge werden seit mehr als 30 Jahren erfolgreich und mit stetig zunehmendem Marktanteil eingesetzt. Grundlage des Erfolgs bildet nach wie vor die Kombination aus hoher Schleifleistung und hervorragenden Abricht- und Konditioniereigenschaften in CNC-Prozessen. Dabei erfolgt der Einsatz von CBN-Werkzeugen primär beim Schleifen schwer zerspanbarer hochlegierter Stähle mit Härten über 55 HRC [3]. Ungehärte-

## INFORMATION & SERVICE



### HERSTELLER

**Meister Abrasives AG**  
 CH-8450 Andelfingen  
 Tel. +41 52 304 22 00  
[www.meister-abrasives.com](http://www.meister-abrasives.com)  
 GrindTec Halle 3-3084

### LITERATUR

- [1] P. Beyer: Hochproduktives Schleifen mit keramisch gebundenen Superabrasives. Teil 1: Die HPB-Technologie für Vit-CBN-Schleifwerkzeuge. IDR 4/2004, S. 344–348
- [2] P. Beyer: Die Vorteile verbinden. WB Werkstatt+Betrieb 4/2007, S. 64–67
- [3] F. Klocke und W. König: Fertigungsverfahren 2 – Schleifen Honen Läppen. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005, S. 41
- [4] H. J. Padberg: Aufbau und Bindungsmatrix hochbeanspruchter keramisch gebundener Zerspanwerkzeuge. cfi/Ber. DKG 70 11-12/1993, S. 598
- [5] H. Hadert: Aufbau von Schleifscheiben und Schleifpapieren. Chemiker-Zeitung 23/1966, S. 801–810
- [6] Projektbericht KTI-Projekt 7163.1; 2 EPRP-IW

### DER AUTOR

**Dr.-Ing. Peter Beyer** ist CEO bei Meister Abrasives in Andelfingen/Schweiz  
[Peter.Beyer@meister-abrasives.ch](mailto:Peter.Beyer@meister-abrasives.ch)

### PDF-DOWNLOAD

[www.werkstatt-betrieb.de/1302838](http://www.werkstatt-betrieb.de/1302838)

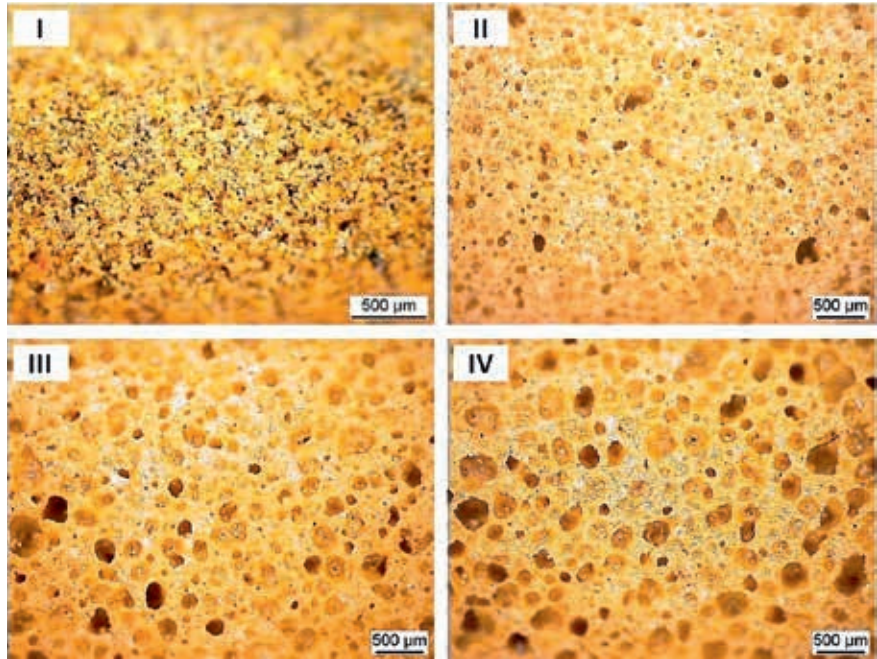
te Stähle sind bisher primär nur mit konventionellen Schleifwerkzeugen bearbeitbar.

#### Die Leistung keramischer Bindungen stieg mit optimierten CBN-Körnungen

Der Aufbau einer Schleifscheibe in keramischer Bindung wird charakterisiert durch das Schleifmittel beziehungsweise dessen chemische/physikalische Eigenschaften und dessen Konzentration/Kombination, die (silikatische) Bindung sowie das Gefüge (Porenvolumen und Porenradienverteilung). 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. In den letzten Jahren ist es jedoch spezialisierten Werkzeug- und Kornherstellern durch enge Kooperation gelungen, zahlreiche Weiterentwicklungen im Bereich der CBN-Körnungen und deren Nachbehandlung zu realisieren, um das Leistungsprofil der keramischen Bindung weiter ausreizen zu können [1].

Neu hinzugekommen sind in den letzten Jahren sogenannte Hybridsysteme, welche erfolgreich die freischneidenden Eigenschaften der keramischen Bindung mit der Verschleißfestigkeit der metallischen kombinieren. Bevorzugt werden diese im Bereich von diamantbasierten Schleif- oder Abrichtwerkzeugen eingesetzt [2]. Hier begrenzen jedoch sowohl verfahrenstechnische Einschränkungen bei der Verwendung feiner Körnungen als auch die Abrichtbarkeit in CNC-Prozessen die breite Anwendung in CBN-Schleifwerkzeugen.

Die keramischen Bindungen sowie die gesamte Gefügeauslegung können als die Schlüsseltechnologien des Werkzeugherstellers aufgefasst werden. Die Bindungsmatrix wird üblicherweise aus Glasfritten, Feldspäten, Kaolin und verschiedenen Tonen sowie weiteren oxidischen Zuschlagsstoffen aufgebaut. Die gebrannten Bindungen enthalten überwiegend folgende Kationen:  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$  und  $\text{Na}^{+}$ , seltener auch  $\text{Li}^{+}$ . Die Herstellung erfolgt bisher durch das Erschmelzen spezifischer Gläser oder Glasfritten und eine pulvermetallurgische Aufbereitung, versetzt mit den letztgenannten Feldspäten und Kaolinen [4].



**4 Porenradien und Porosität bei identischer CBN-Korngröße B40 und Konzentration C125. I Standardstruktur, II leicht erhöhte Porosität, deutlich größere Porenradien, III deutlich erhöhte Porosität und größere Porenradien, IV extrem erhöhte Porosität und größere Porenradien mit bereits abnehmender Strukturfestigkeit (© Meister Abrasives)**

Das Gefüge setzt sich im Wesentlichen aus dem Volumenanteil CBN-/DIA-Korn, möglichen sekundären Stützkörnungen auf konventioneller Basis von Korund oder SiC, dem Anteil Bindung sowie der resultierenden Porosität zusammen. Letztere kann durch den Zusatz sogenannter organischer Porenbildner gezielt in gewissen Bereichen gesteuert werden. Dabei handelt es sich immer um eine statistische Verteilung aller Komponenten, die nicht zwingend die optimale Anordnung der einzelnen Rohstoffe sicherstellt.

#### Das Potenzial der Keramikbindung: Wird es eigentlich ausgeschöpft?

Die übliche Verfahrensweise zur Herstellung folgt der klassischen pulvermetallurgischen Route über Mischen, (uniaxialen) Verpressen, freiem Sintern und einer entsprechenden Hartbearbeitung. Alternative Fertigungsverfahren wie das in der keramischen Industrie verbreitete Schlickergießen [5], das Spritzgießen oder das Extrudieren, das Foliengießen oder die sich in jüngster Zeit rapide entwickelnden additiven Fertigungsverfahren werden bisher nur in Ausnahmefällen genutzt.

Doch wird das volle Potenzial der keramischen Bindung genutzt? Ist die Schleifmittelindustrie innovativ genug,

in ihrer von Manufakturstrukturen geprägten Fertigungstechnologie durch neue Werkstoffe und Verfahren einen Technologiesprung zu realisieren? Die Entwicklung der 3D-Technologie stimmt in diesem Zusammenhang optimistisch. Der vorliegende Ansatz zeigt, wie durch eine gezielte Adaption alternativer Fertigungsprozesse und Werkstoffe die klassischen Systeme zu Strukturen mit völlig neuen Eigenschaftsprofilen verarbeitet werden können.

#### Ein System aus zwei Metalloxiden bildet den Kern der 3D-Technologie

Die 3D-Technologie setzt sich zum Ziel, durch eine optimale Anordnung der Rohstoffkomponenten sowie der Synthese eines hochporösen und doch verschleißfesten Gefüges Strukturen für höchste Zerspanleistungen bei gleichzeitig stark reduzierten Schleifkräften zu realisieren. Dabei soll ein breites Spektrum von Korngrößen nutzbar sein.

Die Herstellung der in weiten Bereichen frei skalierbaren Strukturen beruht auf einer Kombination aus einer neuartigen Rohstoffauswahl in Verbindung mit einem innovativen Fertigungsverfahren und einer Prozessführung, die in der Schleifwerkzeugfertigung bisher noch nicht etabliert ist, um auf diese Weise eine optimale dreidimensionale Struktur zu generieren.

Ergänzend zu den bereits genannten Rohstoffen keramischer Bindungen wird ein System aus zwei Metalloxiden (Mex-Oy) eingesetzt, das durch eine gezielte Variation des Verhältnisses den Aufbau und die Stabilisierung der porösen Strukturen erlaubt. Aufgrund der kritischen Betrachtung beim Einsatz von karbidischen Rohstoffen im Schleifwerkzeug seitens der Anwender wird hierauf explizit verzichtet.

Exemplarisch stellt Bild 3 dar, wie sich der Grad der Porosität einstellen lässt. Komplementär dazu ergibt sich ein E-Modul-Verlauf, der in gewissen Grenzen unabhängig von der Porosität auf nahezu konstantem Niveau eingestellt werden kann.

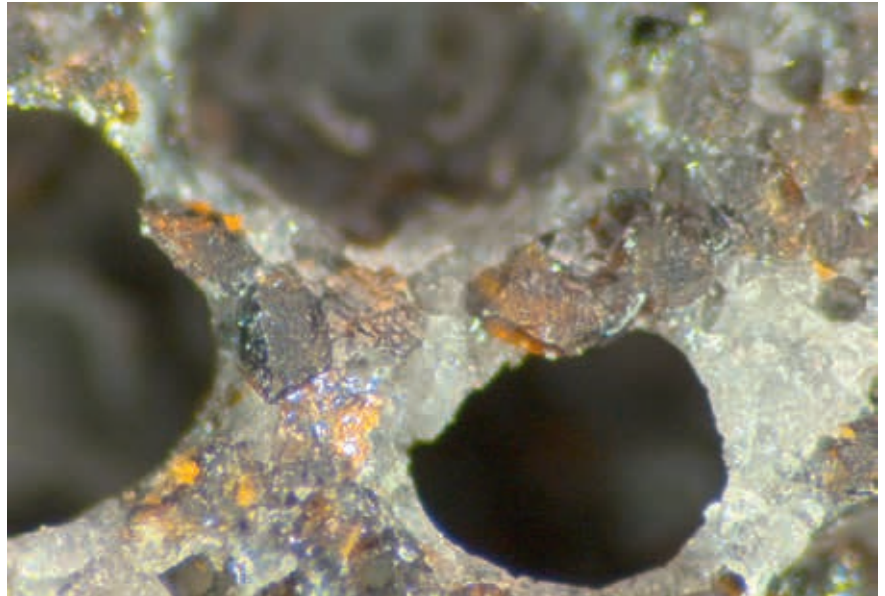
Als dritter Faktor kann zusätzlich die Porenradienverteilung beeinflusst werden. Bild 4 zeigt dabei im Vergleich zu einer konventionellen Struktur bei konstanter Korngröße und CBN-Konzentration die Variabilität des Systems.

Als vierter Parameter ist die Schleifkörperhärte beeinflussbar. Diese ergibt sich als Kombination aus Bindungsanteil und gewähltem Strukturaufbau. Die erzeugten Strukturen weisen dabei eine charakteristische Anordnung der Schleifkristalle auf, die eine Einbettung der Körnungen in die Bindungsstege erlaubt, um so trotz der um ein Vielfaches größeren Porenradien eine verschleißfeste Struktur zu erzeugen (Bild 5). Grundsätzlich ist die Technologie anwendbar auf einen breiten CBN-Korngrößenbereich, das heißt, in der Praxis lassen sich Korngrößen von B4 bis B126 verwenden.


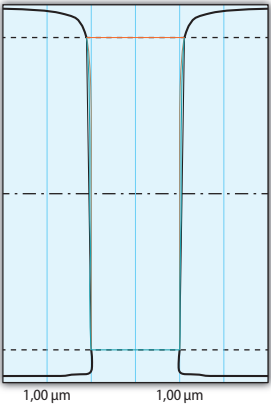
### Tests im firmeneigenen Labor bestätigen die Überlegenheit von 3D

Zur anwendungsnahen Entwicklung von Werkzeugen und Prozessen für das Innenrunds Schleifen, hier besonders der Spezialität der Bearbeitung von Kraftstoff-Einspritzdüsen, ist bei Meister Abrasives ein voll instrumentiertes Versuchszentrum aufgebaut worden. Die anwendungsnahen Entwicklung neuer Werkzeuge und Prozesse ließ sich so signifikant verkürzen.

Grundsatzversuche zur 3D-Technologie wurden auf einer UVA U80 durchgeführt, für das Messen der Bohrungsgeometrie wurde ein Formprüfgerät Seewald ZMG 29 verwendet. Die Oberflächengüte ermittelte und dokumentierte man mittels Mahr Perthometer M1.



5 Mikroskopische Aufnahme einer 3D-Struktur. Gut erkennbar sind die kompakten CBN-Korn-Bindungsstege und die hochporöse Struktur (© Meister Abrasives)

Schleifoperation	Bohrungsschleifen (Ø 4 mm/Ø 10 mm)/100Cr6 (58–62 HRC)	
Parameter	Abrichten	Schleifen
Typ	DD 52×6×42 X = 1,5 W = 0,8	IG 3,9×9×2 / M2
Laufrichtung	GGL	GGL
Vorschub	300 mm/min	1500/500 mm/min auf 4 mm
Abrichtbetrag	3 µm im Ø	–
Aufmaß	–	80 µm im Ø
v <sub>c</sub>	–	16,3 m/s
Kühlmittel	Öl	Öl
Resultate	Meister Vit-CBN	Meister 3D
		
Prozesszeit	23 s	23 s
PSH <sup>1</sup> grob	0,050 mm	0,050 mm
PSH <sup>1</sup> fein	0,030 mm	0,030 mm
Ausbiegung an GPC <sup>2</sup>	30 µm	20 µm
Rz	0,71 µm	0,76 µm
Zylindrizität	0,74 µm	0,11 µm
Parallellität	1,44 µm	0,15 µm
Konizität	-1,44 µm	-0,22 µm

<sup>1</sup>Pivoting Spindle Holder; <sup>2</sup>Grinding Process Control

© WB Werkstatt + Betrieb

6 Vergleich der erzeugten Bohrungsgeometrien, die mit einem Standardstruktur-Serien-schleifwerkzeug (links) und mit einer 3D-Struktur erzeugt wurden (rechts). Die Prozessparameter waren konstant (© Meister Abrasives)

Bearbeitet wurde ein typischer Innendurchmesser einer Einspritzdüse mit der Dimension  $4.00 \times 11$  mm in 100Cr6, HRC 58-62, an einem analogen Referenzbauteil. Beim Einsatz unter analogen Schleifparametern ergab sich für das Schleifen mit dem 3D-Werkzeug eine deutlich bessere Bohrungsgeometrie, bezogen auf die Zylindrizität, Parallelität als auch Konizität, im Vergleich zum heutigen Serienwerkzeug (Bild 6). Indirekt liefern die dokumentierten Resultate den Nachweis deutlich reduzierter Schleifkräfte und eines hervorragenden Abtragsverhaltens, das in einer reduzierten Auslenkung des Schleifdorns und damit einer optimierten Geometrie resultiert. Die an der Maschine mögliche Kompensationskorrektur zur Bohroptimierung bedarf deshalb deutlich reduzierter Werte.

In einem weiteren Schritt etablierte man diese vielversprechenden Laborergebnisse in der praktischen Serienanwendung. Hierbei gelang es auf zwei Anwendungsgebieten, eine hochwirtschaftliche Bearbeitung bei optimalen Oberflächen- und Geometrien sicherzustellen, die bislang noch nicht erreicht

worden war. Die 3D-Technologie bewährte sich dabei sowohl bei ungehärteten hochlegierten Stählen als auch wechselnden Eingriffsverhältnissen beim Innen-Unrundschleifen.

Die vorgestellten Beispiele zeigen die erfolgreiche Optimierung von CBN-Innenschleifoperationen durch den gezielten offenporigen Aufbau dreidimensionaler Strukturen. Die damit erzielbaren Ergebnisse, besonders beim Einsatz zum Feinstschleifen mit reduzierten Schleifkräften, zeigen das Potenzial dieser innovativen Technologie. Die realisierten Strukturen und anwendungstechnischen Ergebnisse legen außerdem die Frage nahe, ob nicht auch Hochleistungsprozesse im Bereich der Außenrundschleif-Anwendungen möglich wären.

Als weiteres Anwendungsgebiet dürfte die Hartstoffbearbeitung schwer zerspanbarer Werkstoffe interessant sein. Hierzu werden derzeit die Entwicklungsergebnisse auf diamantbasierte Systeme übertragen. Erste Prototypen sind bereits umgesetzt und werden aktuell bei Schlüsselkunden zu Grundsatzversuchen mit äußerst vielversprechenden ersten Ergebnissen eingesetzt. ■

## Sonderdruck aus WB Werkstatt + Betrieb 3/2016, Seite 70-74



[www.werkstatt-betrieb.de](http://www.werkstatt-betrieb.de)

© Carl Hanser Verlag, München. 2016.  
Alle Rechte, auch die des Nachdrucks, der photomechanischen und elektronischen Wiedergabe sowie der Übersetzung dieses Sonderdrucks, behält sich der Verlag vor.



 **Meister Abrasives**  
SINCE 1958