

Schneidkantengestalt beeinflusst Prozesskräfte und Spanbildung

Den Bohrprozess simulieren

Eine Studie zeigt, wie die Anpassung der Mikrogestalt von Werkzeugen auf den HPC-Bohrprozess die Leistungsfähigkeit von Werkzeugen deutlich erhöhen kann.

VON DIRK BIERMANN, FRANZISKA
HÖHNE UND INA TERWEY

→ Die Kenntnis über den Einfluss der Makro- und Mikrogestalt der Werkzeuge auf das Einsatzverhalten ist für die Optimierung der Werkzeuge von hohem Interesse. Der Einfluss der Kantengestalt auf den HPC-Bohrprozess ist Gegenstand der vorliegenden Untersuchung für die Erweiterung des Prozessverständnisses sowie für die Steigerung der Leistungsfähigkeit durch die Anpassung der Mikrogestalt auf den HPC-Bohrprozess.

Kantenpräparation von VHM-Bohrwerkzeugen

Der Hochleistungsbohrprozess wird aufgrund der hohen Zeitspanvolumina ein hohes wirtschaftliches Potenzial zugeschrieben. Die damit verbundenen hohen Prozesskräfte können sich aufgrund der hohen thermomechanischen Belastung negativ auf die Werkzeugstandzeit auswirken. So liegen hohe Anforderungen an die Werkzeugstabilität und die Schneidkantenfestigkeit vor. Die Ausführung der Schneidkanten von VHM-Werkzeugen wird durch die zur Herstellung der Makrogestalt eingesetzten Schleifverfahren beeinflusst. Verfahren wie das Strahlspanen zur Kantenpräparation der Schneidkanten mindern die vorliegenden Mikroausbrüche und erzeugen eine definierte Kantenverrundung. Über die Variation relevanter Prozesskenngrößen ist eine gezielte Einstellung der Schneidkantengestalt möglich [1].

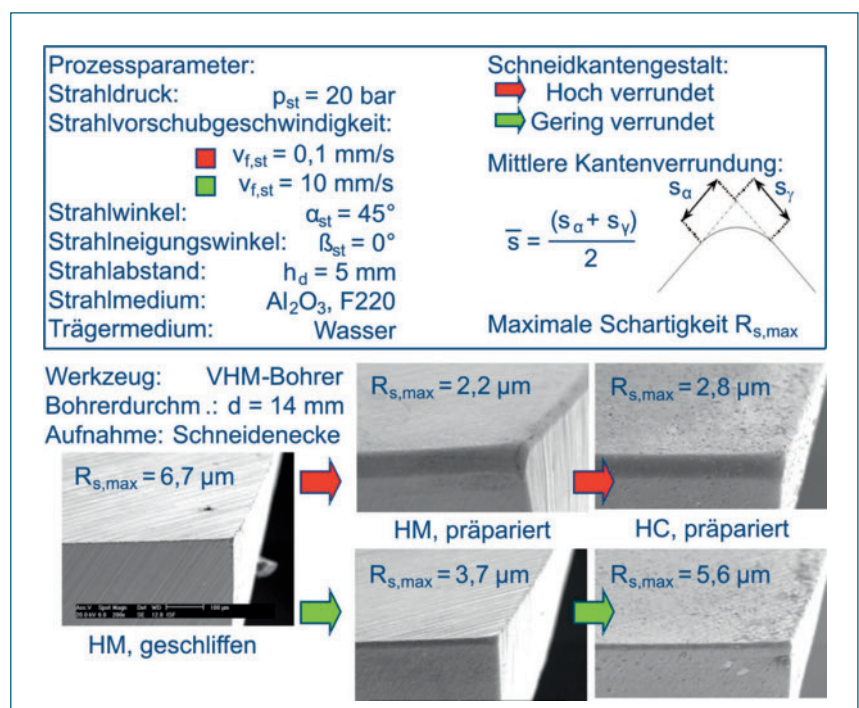
Bei der Analyse des Einsatzverhaltens sind VHM-Bohrwerkzeuge unterschiedlicher Mikrogestalt eingesetzt worden. Die Präparation der Schneidkanten erfolgte

mithilfe des auf dem Injektorverfahren basierenden Strahlspanprozesses. Über die Variation der Strahlvorschubgeschwindigkeit sind zwei Verrundungsgrößen realisiert worden.

Die qualitative Gegenüberstellung von REM-Aufnahmen der Schneidenecke in Bild 1 verdeutlicht den Einfluss des Strahlspanprozesses auf die Schneidkante. Für die Charakterisierung der Mikrogestalt werden die mittlere Kantenverrundung zur Beschreibung des Materialabtrags und die Kantenschartigkeit verwendet [2]. Die Messung dieser Kenngrößen erfolgt mit Einsatz eines optischen auf der Streifenlichtprojektion basierenden Messsystems. Die REM-Aufnahmen der Bohrwerkzeuge zeigen qualitativ den Einfluss der Vor-

schubgeschwindigkeit aufgrund des Aufpralles der beschleunigten Abrasivkörner auf die Werkzeugoberfläche und die Größe der Verrundung. So bewirkt eine geringere Strahlvorschubgeschwindigkeit aufgrund der stärkeren Einwirkung eine deutlichere Oberflächenglättung sowie eine Verbesserung der Schartigkeit. Die Kantenschartigkeit wird hingegen durch die Beschichtung gerade bei geschliffenen und gering verrundeten Werkzeugen beeinträchtigt. Folglich wird die Anlagerung und Haftung der Beschichtung mit zunehmender Verrundung begünstigt.

Der Einsatz von Simulationen in der Produktionstechnik hat das Ziel, neben der Reduktion kosten- und zeitintensiver Versuche ein fundiertes Prozessverständnis zu >>>



1 Darstellung der Schneidkantengestalt der Einsatzwerkzeuge

» entwickeln. Die Simulation des Bohrprozesses ist aufgrund vieler Einflussparameter wie der Werkzeuggestalt, der Schneidkantenverrundung, der Kontaktreibungsvorgänge und des Materialverhaltens eine besondere Herausforderung [3].

Das verwendete FEM-Simulationsprogramm »Deform 3D« basiert auf linearen Tetraederelementen und wurde ursprünglich für Massivumformsimulationen entwickelt. Der Solver arbeitet mit einer impliziten Langrange'schen Formulierung, so können längere Prozesszeiten und große plastische Deformationen abgebildet werden. Das Netz ist ortsfest, das heißt mit dem Bauteil verbunden. Zu große Deformationen der Elemente beeinträchtigen maßgeblich die Lösungskonvergenz, daher ist ein häufiges Neuvernetzen in der Kontaktzone bei Zerspanprozessen erforderlich.

Hierfür wird die aktuelle Kontur des Werkstücks extrahiert, dieses neu vernetzt und bestehende Zustands- und Berechnungsgrößen auf das neue Netz interpoliert. Das Bohrwerkzeug wurde für die Simulation mittels eines CAD-Programms idealisiert. Es wurden Quer- und Hauptschneide modelliert, da die Nebenschneiden während der kurzen simulierten Prozesszeiten nicht in den Eingriff kommen.

Der Rechenaufwand erfordert kurze Prozesszeiten. Somit wurden zwei Umdrehungen des Werkzeugs simuliert, wobei die komplette Hauptschneide im Eingriff ist. Als Folge ist ein Bauteil zu modellieren,

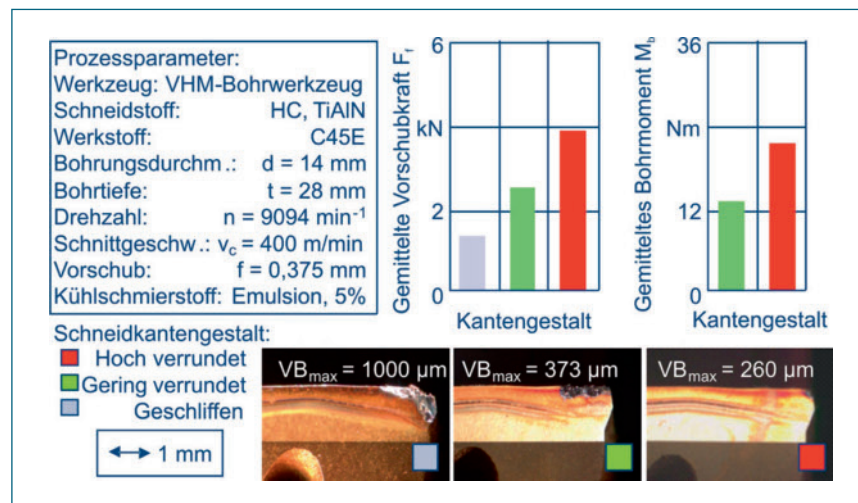
welches die Negativform des Werkzeugs wiedergibt. Entlang der Hauptschneide wurden die durch die Kantenpräparation aufgebracht verschiedenen Verrundungen modelliert. Hierbei wird zwischen einer gering verrundeten Schneide und einer hoch verrundeten Schneide unterschieden.

Um die Auswirkungen der Schneidkantenverrundung auf die Auswertegrößen zu ermitteln, wurde ein Referenzwerkzeug mit ideal scharfer Schneide verwendet. Eigene Vorarbeiten ergaben, dass das Coulomb-Reibungsgesetz mit dem Reibwert $m = 0,25$ zu den besten Ergebnissen führt. Das Werkzeug ist ideal starr. Der Span entsteht infolge einer starken Material- und Elementdeformation im Bereich

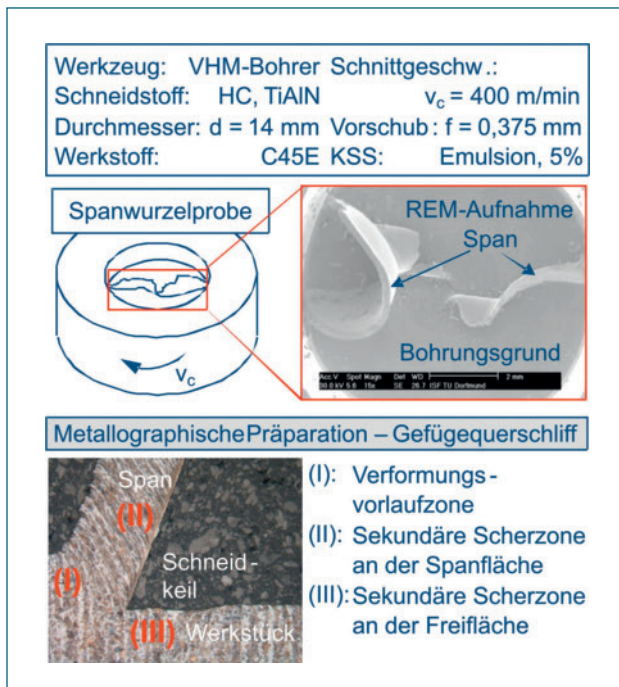
der Schneidkante, wobei die Neuvernetzungsroutine einer übermäßig verzerrten Netztopologie entgegenwirkt. Die Netzfeinheit nach dem Remeshing wird durch die Gradienten der Dehnung und Dehnraten im Material gesteuert. Der Werkstoff C45E wurde für die aktuellen Simulationen als plastisches Material angenommen, da es aufgrund numerischer Instabilitäten bisher nicht möglich ist, Bohrsimulationen mit elastisch-plastischem Material durchzuführen.

Vergleich experimenteller und simulativer Ergebnisse

Die Analyse des HPC-Bohrprozesses dient zur Optimierung beziehungsweise Anpas-



2 Einfluss der Mikrogestalt auf Vorschubkraft und Bohrmoment



3 Mikroskopische Analyse des Spanbildungsprozesses

sung der Schneidkantengestalt. Auf Basis experimenteller Untersuchungen soll mit Einsatz der Simulation eine prozess- sowie werkstoffspezifische Anpassung der Schneidkantengestalt umgesetzt werden. Für die Ermittlung des Einflusses der Kantenverrundung auf das Prozessverhalten unter HPC-Bedingungen ist das Einsatzverhalten der VHM-Bohrwerkzeuge durch die Ermittlung der Vorschubkraft und des Bohrmoments sowie durch die Analyse des Spanbildungsprozesses anhand expe-

perimenteller Versuche aufgestellt worden. Als Referenz dient jeweils ein geschliffenes Werkzeug. Bild 2 zeigt den Einfluss der Kantenverrundung auf die gemittelten Werte von Vorschubkraft und Bohrmoment. Des Weiteren ist der Verschleißzustand der Schneidenecke nach der ersten Bohrung in Abhängigkeit der Mikrogestalt aufgezeigt. Es liegt eine Abhängigkeit zwischen der Prozessbelastung und der Mikrogestalt vor. So steigt mit zunehmender Verrundung neben dem Drehmoment die

gemittelte Vorschubkraft. Insgesamt wirkt sich die Kantenpräparation positiv auf die Ausbildung des Werkzeugverschleißes aus. Daher nimmt die Verschleißbeständigkeit aufgrund der erhöhten Kantenstabilität und besserer Schichthaftung mit zunehmender Verrundung trotz höheren mechanischen Belastungen zu.

Die Analyse des Spanbildungsprozesses umfasst auch die mikroskopischen Vorgänge im Bereich der Schneidkante. Anders als beim Drehen erschwert die Unzu-

gänglichkeit der Wirkzone während des Bohrprozesses die Untersuchung der Spanbildungszone. Mit Einsatz einer speziell entwickelten Bohrunterbrechungs-vorrichtung ist eine schlagartige Unterbrechung des Schnittvorgangs auch bei hohen Geschwindigkeiten möglich und dient der Erzeugung von Spanwurzeln [4]. Hierbei stellen die Spanwurzeln die Verbindung zwischen der Werkstückrandzone und dem erzeugten Span dar (Bild 3).

Durch die metallografische Präparation dieser Spanwurzeln ist eine Analyse der Vorgänge in der Wirkzone gegeben. Bild 4 gibt den Einfluss der Mikrogestalt der unterschiedlich präparierten Bohrwerkzeuge auf die Spanform und die Wirkzone des Spanbildungsprozesses wieder.

Die als günstig einzustufenden Spanformen zeigen keinen direkten Einfluss der Mikrogestalt. Der Vergleich der Gefügeschliffe im Bereich der Schneidenecke bei einem Spanwinkel von ungefähr $\gamma = 50^\circ$ lässt einen Einfluss der mikroskopischen Kantengestalt aufgrund des sich ändernden Werkstoffflusses im Bereich der Schneidkante erkennen. So wirkt sich eine höhere Kantenverrundung, bedingt durch zu-

>>>

i INSTITUT

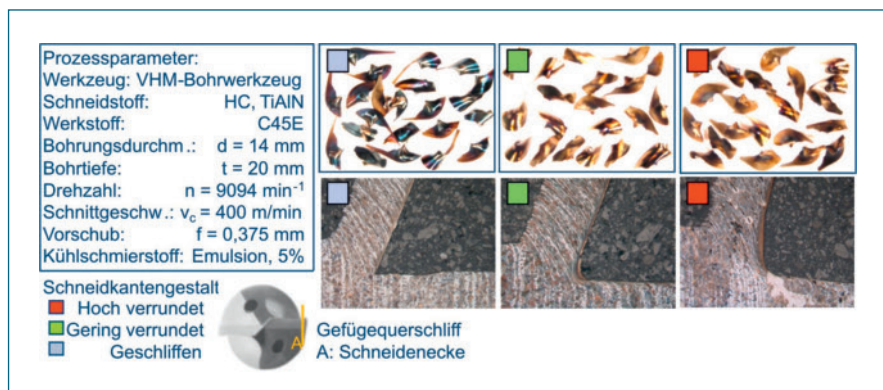
Institut für Spanende Fertigung

Technische Universität Dortmund

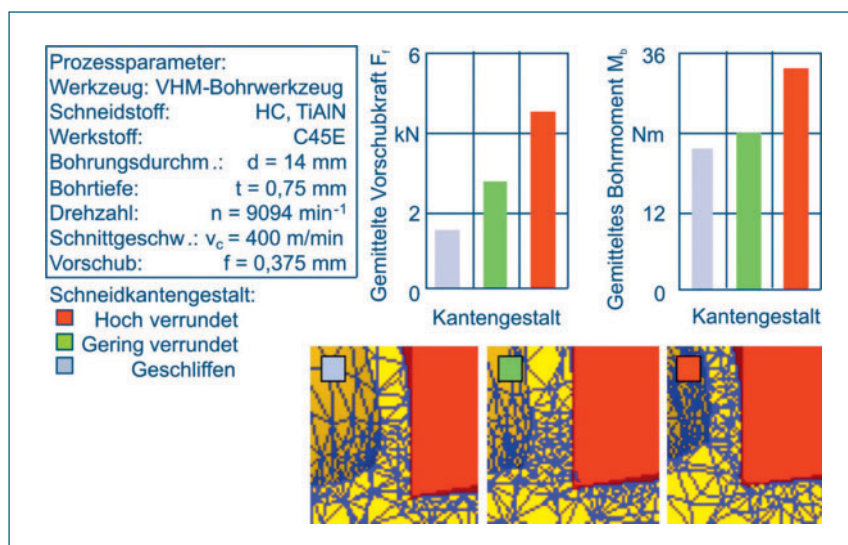
44227 Dortmund

Tel. 0231 755-2784, Fax 0231 755-5141

→ www.isf.de



4 Einfluss der Kantenverrundung auf die Spanbildung



5 Einfluss der simulierten Mikrogestalt auf Vorschubkraft, Bohrmoment, Spanform und Vernetzung

» nehmende Quetschvorgänge, in Form einer verstärkten Umlenkung des Spans aus. Diese Werkstoffumformung ist zudem am Bohrungsgrund im Bereich der sekundären Scherzone der Freifläche erkennbar. Außerdem zeigt sich bei einem Vergleich der Querschliffe eine Verfestigungszone entlang der Kontaktfläche zur Spanfläche, deren Ausprägung mit zunehmender Größe der Kantenverrundung aufgrund der verstärkten Druckbelastungen ansteigt.

Die Finite-Elemente-Methode soll in diesem Zusammenhang das Einsatzverhalten der Bohrer mit den verschiedenen Schneidkantenverrundungen abbilden, um für unterschiedlichste Verrundungen prädiktive Aussagen machen zu können und somit aufwendige Versuche zu reduzieren. Wie in Bild 5 dargestellt, entsprechen die Vorschubkräfte nahezu den experimentell ermittelten Daten für unterschiedliche Verrundungen. Zudem ist

auch das tendenziell höhere Bohrmoment bei steigender Kantenverrundung zu erkennen. Diese Werte liegen jedoch speziell für hohe Verrundungen deutlich über den gemessenen Werten. Im Hinblick auf die Spanform ist zu beobachten, dass eine verrundete Schneidkante höhere Dehnungen im Material hervorruft, was durch das feinere Netz im Bereich vor der Schneidkante deutlich wird. Daraus folgt die unterschiedliche Materialbelastung bei Einsatz verschiedener Kantengestalten.

Ziel ist es, das Einsatzverhalten von VHM-Bohrwerkzeugen durch Schneidkantenpräparation zu verbessern. Wie die experimentellen Untersuchungen zeigen, ist der Einsatz eines unpräparierten, beschichteten VHM-Bohrwerkzeugs unter HPC-Bedingungen aufgrund der verminderten Verschleißbeständigkeit nicht effizient. Mit ansteigender Verrundung wird die Verschleißbeständigkeit der Bohrerwerk-

zeuge aufgrund einer besseren Schichthaftung trotz ansteigender Prozesskräfte und verstärkter Werkstoffumlenkung bei mikroskopischer Betrachtung des Spanbildungsprozesses verbessert.

Mit der Simulation können die mechanischen Prozesskräfte genau für die unterschiedlichen Schneidkantengestalten abgebildet werden. Somit ist es möglich, bei Rechenzeiten von circa 50 Stunden auf einem Rechner Informationen über Prozesskräfte, Spanbildungsprozess und hoch belastete Schneidenbereiche zu erhalten. In folgenden Untersuchungen wird das Materialmodell um den elastischen Anteil erweitert, um die Genauigkeit der simulierten Vorschubkraft zu steigern. Des Weiteren soll das Werkzeug nicht als ideal starr angenommen werden, sondern die Materialeigenschaften des Hartmetalls und der Beschichtung für die Durchführung von Untersuchungen zur Ermittlung der Verschleißbeständigkeit erhalten. ■

Artikel als PDF unter www.metall-infocenter.de
 Suchbegriff → **WB110050**

LITERATUR

- 1 Kötter, D.: Herstellung von Schneidkantenverrundungen und deren Einfluss auf das Einsatzverhalten von Zerspanwerkzeugen. Dissertation, Universität Dortmund, 2006
- 2 Denkena, B.; Friemuth, T.; Spengler, C.; Weinert, K.; Schulte, M.; Kötter, D.: Kantenpräparation an Hartmetall-Werkzeugen. In: wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 3, S. 202-207
- 3 Oh, J.-D.: Modellierung und Simulation des mechanischen und thermischen Beanspruchungsverhaltens metallischer Werkstoffe bei der Spanbildung. Dissertation, Universität Kaiserslautern, 2004
- 4 Weinert, K.; Koehler, W.; Opalla, D.: Schnittunterbrechung beim Bohren mit hohen Geschwindigkeiten. wt Werkstattstechnik online 92 (2002) 4, S. 176-178

Prof. Dr.-Ing. Dirk Biermann ist Leiter des Instituts für Spanende Fertigung (ISF) der Technischen Universität Dortmund
 → biermann@isf.de

Dipl.-Ing. Ina Terwey und **Dipl.-Wirt.-Ing. Franziska Höhne** sind wissenschaftliche Mitarbeiterinnen am ISF
 → terwey@isf.de, hoehne@isf.de