

Vergleichende Analyse des Einflusses von Schneidstoff und Beschichtung

# Tiefbohren mit präparierten Einlippenbohrern

Das ISF Dortmund liefert Ergebnisse hinsichtlich des Einsatzverhaltens von Einlippentiefbohrern bei der Zerspanung des Vergütungsstahls 42CrMo4 mit reduziertem Schwefelgehalt in Abhängigkeit des Schneidstoffs und des Beschichtungskonzepts.

VON DIRK BIERMANN, ROBERT ASSMUTH UND MARK WOLF

→ Das Tiefbohren mit Einlippenbohrern kommt bei der Herstellung von Bohrungen mit großen Länge-zu-Durchmesser-Verhältnissen ( $l/D$ -Verhältnis) zum Einsatz. Zu den Vorteilen des Verfahrens zählt die Erzeugung von Bohrungen mit hoher Fertigungsgüte bei gleichzeitigem Verzicht auf nachfolgende Bearbeitungsschritte. Aufgrund der asymmetrischen Schneidteilgestalt mit nur einer Schneide steht dem der Nachteil niedriger realisierbarer Vorschubgeschwindigkeiten gegenüber. Zur Verbesserung des Leistungsvermögens des Einlippenbohrers (höhere Werkzeugstabilität, kürzere Fertigungszeit) kann eine Anpassung des Schneidstoffs und des Beschichtungskonzepts an die Zerspanungsaufgabe dienen.

## Werkzeugpräparation bringt Vorteile

In aktuellen Forschungsarbeiten wird aufgezeigt, dass eine gezielte Präparation der Schneidkante sowie eine Schichtvor- und Schichtnachbehandlung der Schneidteiloberflächen zur Verbesserung des Leistungsvermögens von Zerspanwerkzeugen mit geometrisch bestimmter Schneide führen [1, 2 und 3]. In vorangegangenen Untersuchungen erwies sich eine verrundete Mikrogestalt der Schneidkante am Einlippenbohrer bei der Zerspanung von

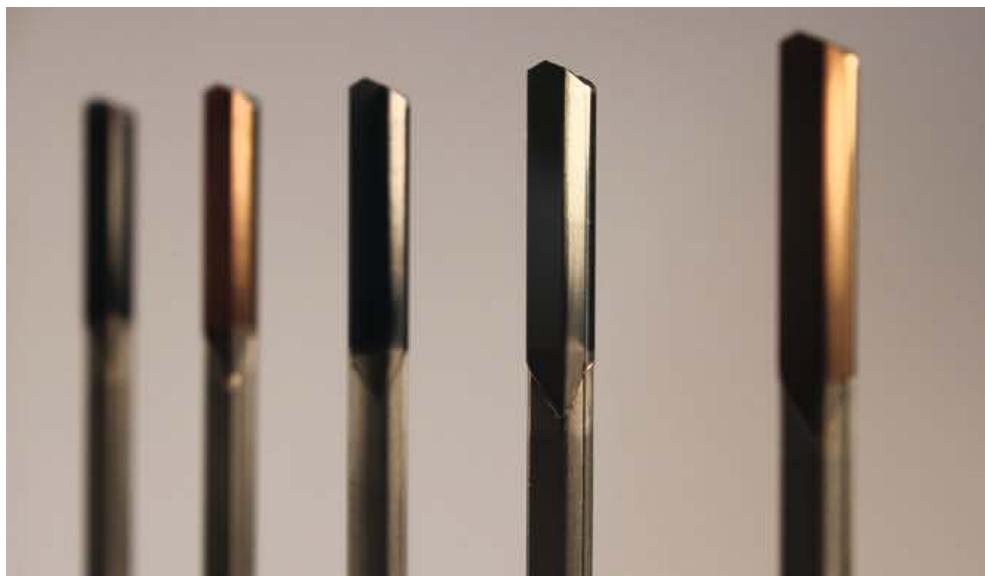
## i INSTITUT

Institut für Spanende Fertigung (ISF)  
der TU Dortmund  
44227 Dortmund  
Tel. +49 231 755-2784  
[www.isf.de](http://www.isf.de)

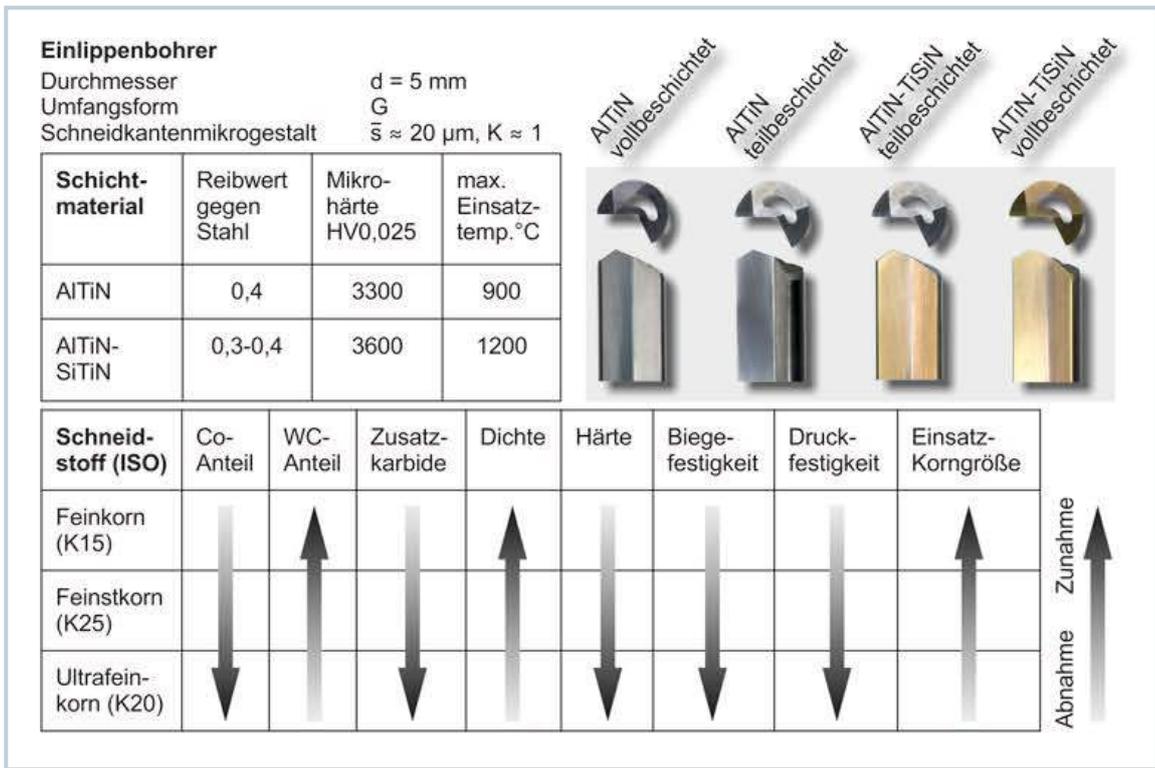
Vergütungs- und Duplexstahl ebenfalls als zielführend. Allen voran bei einer Schneidkantenverrundung von  $\bar{s} \approx 20 \mu\text{m}$  konnte eine Verbesserung der Verschleißbeständigkeit bei erhöhten Vorschubwerten gegenüber dem geschliffenen Ausgangszustand festgestellt werden [4 und 5]. Dennoch unterliegt der Einlippenbohrer im Einsatz einer hohen thermischen und me-

chanischen Belastung. In Abhängigkeit der Prozessbedingungen und des zu zerspanenden Werkstoffs resultiert diese Belastung in Verschleißerscheinungen, die an der Haupt- und Nebenschneide sowie an den Führungsleisten des Einlippenbohrers einsetzen.

Die Wahl eines geeigneten Schneidstoffs und/oder der richtigen Verschleißschutzschicht stellt eine weitere Möglichkeit zur Steigerung der Verschleißbeständigkeit am Zerspanungswerkzeug dar [6 und 7]. Die nachfolgenden Ergebnisse belegen den Einfluss verschiedener Schneidstoffe und Beschichtungskonzepte bei der Zerspannung des Vergütungsstahls 42CrMo4 mit reduziertem Schwefelgehalt.



Einlippenbohrer mit unterschiedlichen Beschichtungskonzepten

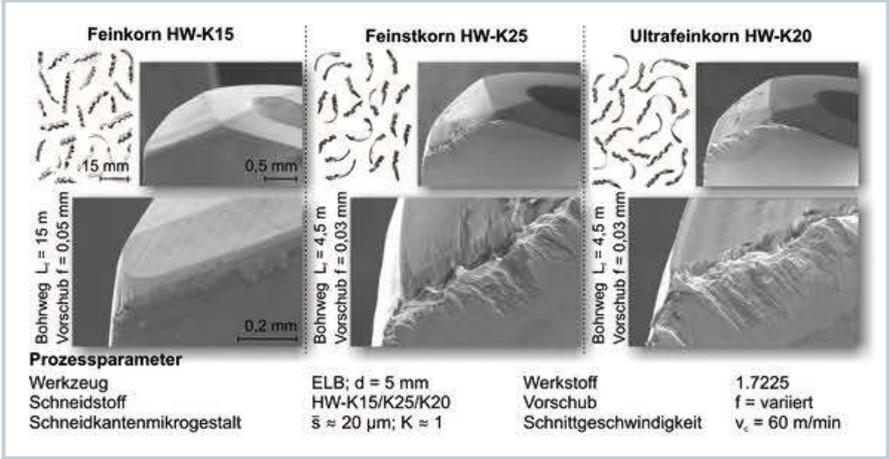


1 Schneidstoff- und Beschichtungsspezifikation der eingesetzten Einlippenbohrer

**Schneidstoffe und Beschichtungskonzepte**

Die eingesetzten Einlippenbohrer verfügen über einen aufgelöteten Hartmetallkopf mit Standardanschiff und der Umfangsform »G«. Der Durchmesser der Werkzeuge beträgt d = 5 mm. Die Hauptschneide der Werkzeuge ist über das Nassstrahlspanverfahren präpariert. Die mittlere Schneidkantenverrundung der eingesetzten Werkzeuge entspricht  $\bar{s} \approx 20 \mu\text{m}$  bei einem Formfaktor von K  $\approx 1$ . In Bild 1 sind die Spezifikationen der gewählten Schneidstoffe und Beschichtungskonzepte nach Herstellerangaben zusammengefasst dargestellt. Zum Einsatz kamen Einlippenbohrer mit Schneidteilen aus Feinkorn-, Feinstkorn- und Ultrafeinkornhartmetall der ISO-Klassen K15, K25 und K20.

Alle Werkzeuge wurden nach der Schneidkantenpräparation im unbeschichteten Zustand eingesetzt. Wesentliche Unterscheidungsmerkmale basieren neben der Wolframkarbidkorngröße auf dem Verhältnis von Bindematerial zu Hartstoff. Während der Bindeanteil Kobalt (Co) mit geringerer Wolframkarbidkorngröße zunimmt, nimmt der Anteil des Wolframkarbids (WC) hingegen ab. Zudem liegt bei Ultrafeinkörnigkeit ein größerer Anteil an Zusatzkarbiden vor. Aufgrund der Materialanteile besitzt die Hart-



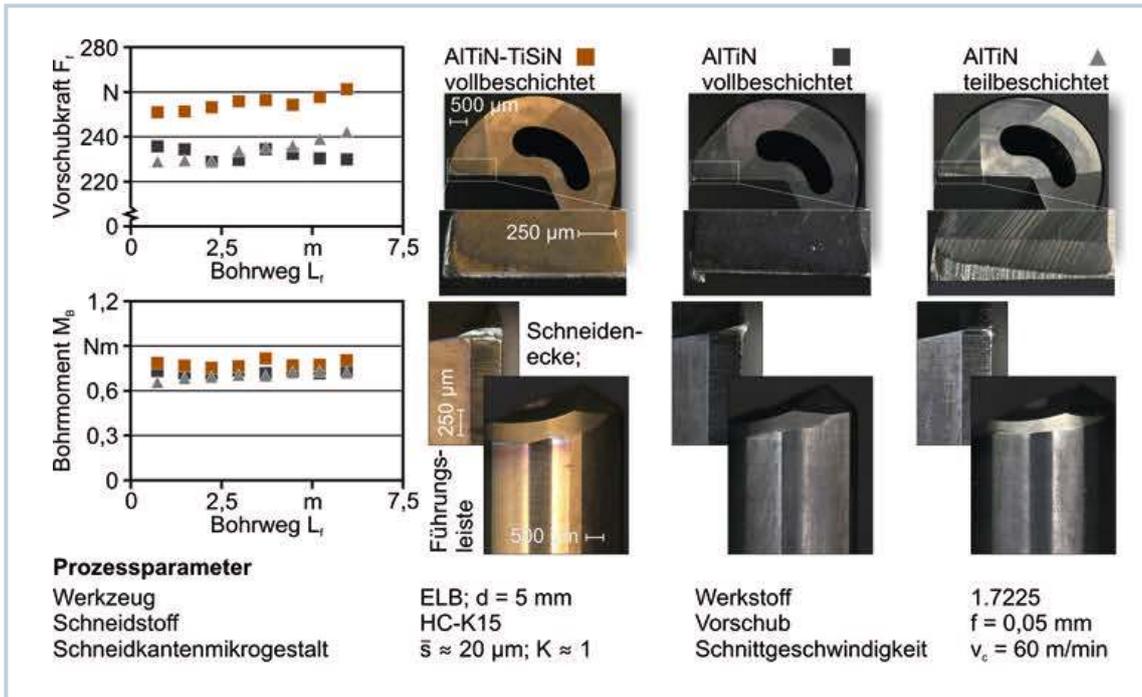
2 Verschleißzustand der eingesetzten Einlippenbohrer in Abhängigkeit des Schneidstoffs

metallsorte bei geringer werdender Korngröße eine erhöhte Härte, Biege- und Druckfestigkeit. Die Dichte des Schneidstoffs nimmt demgegenüber jedoch geringfügig ab.

Neben Einlippenbohrern mit Schneidteilen aus verschiedenen Hartmetallklassen kamen Werkzeuge mit unterschiedlichen Beschichtungskonzepten zum Einsatz. Hierbei wurde das Einsatzverhalten mit einer AlTiN-Schicht und einer AlTiN-TiSiN-Schicht untersucht. Diese PVD-Beschichtungen mit nanostrukturiertem Schichtaufbau weisen laut Hersteller eine Dicke von circa 3  $\mu\text{m}$  auf. Gegenüber der AlTiN-Schicht besitzt die

AlTiN-TiSiN-Schicht eine höhere Mikrohärtigkeit und eine größere maximale Einsatztemperatur. Die Bohrer mit der jeweiligen Beschichtung wurden im voll- und im teilbeschichteten Zustand eingesetzt. Bei der Vollbeschichtung ist der komplette Schneidteil mit der Beschichtung ummantelt. Im teilbeschichteten Zustand wird die Freifläche des Einlippenbohrers nach der Beschichtung nachgeschliffen und ist somit unbeschichtet. Dementsprechend erfolgt die Schneidkantenpräparation beim vollbeschichteten Bohrer vor der Beschichtung, beim teilbeschichteten Werkzeug nach dem Nachschleifen der Freifläche.





### »» Einsatzverhalten in Abhängigkeit der Schneidstoffklasse

Die Beurteilung des Einsatzverhaltens in Abhängigkeit unterschiedlicher Schneidstoffklassen erfolgt anhand des Verschleißzustands der eingesetzten Bohrer und der erzeugten Spanformen nach einem Bohrweg von  $L_f = 1,5 \text{ m}$  (Bild 2). Die Schnittgeschwindigkeit bei der Zerspaltung des Vergütungsstahls betrug über alle Versuche  $v_c = 60 \text{ m/min}$ .

Beim Einsatz der Einlippenbohrer mit dem Schneidteil aus Feinst- und Ultrafeinkornhartmetall zeichnet sich bereits nach einem Bohrweg von  $L_f = 4,5 \text{ m}$  ein deutlicher Verschleiß ab. Die Hauptschneide und die Schneidenecke sowie die angrenzenden Bereiche der Span- und Freifläche sind in hohem Maße abgetragen. Die Schneide erscheint weit in den Bereich der Freifläche zurückgesetzt. Zudem sind im verschlissenen Bereich der vorherigen Hauptschneide massive Materialanhäufungen zu erkennen. Als Ursache für den im Vergleich sehr starken Verschleiß der Hartmetallsorten Feinst- und Ultrafeinkorn kann der höhere Bindephasenanteil angenommen werden. Die abrasive Beanspruchung des Werkstoffs führt zum Abtrag des Bindematerials und somit zu einem Herauslösen der Hartmetallkörner.

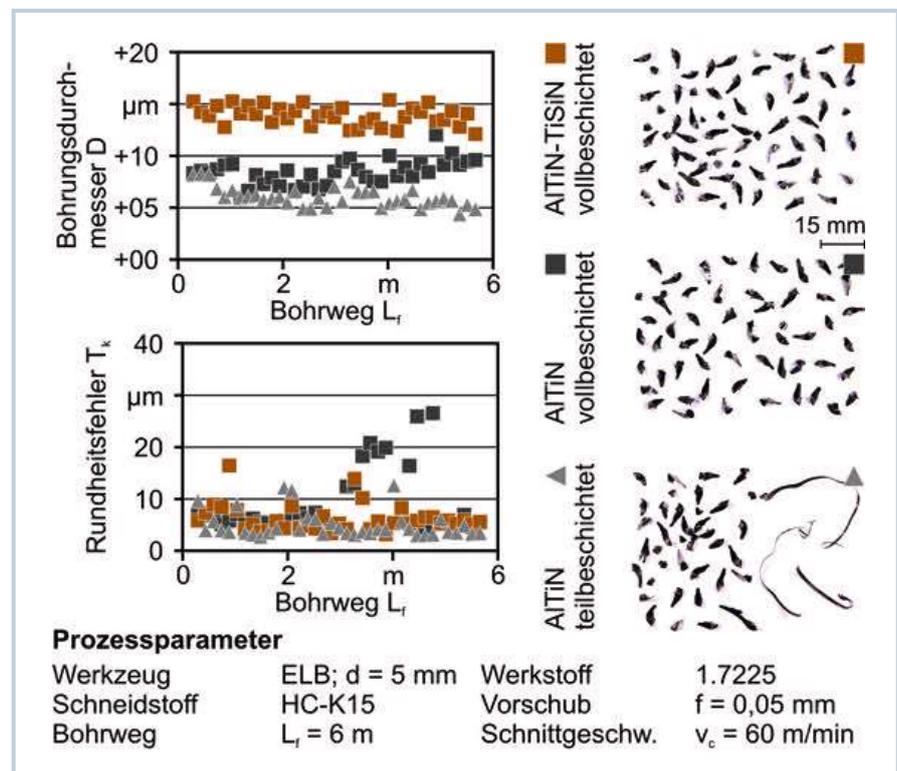
Die innerhalb eines Bohrwegs von  $L_f = 1,5 \text{ m}$  entstandenen Späne weisen bei den stark verschlissenen Werkzeugen bereits deutliche Unregelmäßigkeiten in der

Formgebung auf. Diese kann durch den deutlichen und ungleichmäßigen Versatz der Schneidkanten hervorgerufen werden. Gegenüber der feinst- und ultrafeinkörnigen Hartmetallsorte zeigt die Standard-sorte Feinkorn ein wesentlich besseres Einsatzverhalten. So ist selbst bei gesteigertem Vorschub nach einem deutlich höheren Bohrweg von  $L_f = 15 \text{ m}$  der Verschleiß im

Gegensatz zu den anderen Hartmetallsorten gering.

### Einsatzverhalten in Abhängigkeit des Beschichtungskonzepts

Auf Grundlage der zuvor dargestellten Ergebnisse erfolgte die Beschichtung ausschließlich an Werkzeugen mit Schneidteilen aus Feinkornhartmetall. Zur Beur-



teilung des Einsatzverhaltens der Werkzeuge wurde ein Vorschub von  $f = 0,05$  mm beibehalten. Bild 3 zeigt die mechanische Belastung im Einsatz sowie den resultierenden Werkzeugverschleiß nach einem Bohrweg von  $L_f = 6$  m anhand lichtmikroskopischer Aufnahmen.

Für den mit AlTiN-TiSiN teilbeschichteten Einlippenbohrer sind keine Belastungsergebnisse und Aufnahmen gezeigt. Spanklammer, die in allen Versuchen bereits nach wenigen Bohrungen auftraten, führten zum Abscheren des Schneidteils vom Werkzeugschaft entlang der Lötstelle. Diese ließen sich sowohl über ein Öffnen der Proben als auch über die Aufzeichnung des Bohrmoments verifizieren. Während das aufgezeichnete Bohrmoment beim Einsatz der verbleibenden Werkzeuge keine eindeutigen Aussagen über den Einfluss des Beschichtungskonzepts erlaubt, lässt die Betrachtung der Vorschubkraft über den Bohrweg geringe Unterschiede der wirkenden mechanischen Belastung erkennen.

Beim Einsatz des vollbeschichteten AlTiN-TiSiN-Werkzeugs liegt die höchste mechanische Belastung vor. Die Werkzeuge mit diesem Schichtsystem weisen nach der Beschichtung gegenüber der AlTiN-Beschichtung durchgehend eine gering erhöhte Kantenverrundungsgröße auf. Dies kann über eine größere Schichtdicke begründet werden. Das größere Maß an Verrundung kann Ursache für einen höheren Quetschungsanteil bei der Trennung des zu zerspanenden Materials sein. Dies führt zu stärkeren Belastungen des Werkzeugs in Vorschubrichtung.

Neben den Auswirkungen auf die mechanische Belastung ist auch im Verschleiß ein deutlicher Einfluss des gewählten Beschichtungssystems und -konzepts zu erkennen. Das dargestellte teilbeschichtete Werkzeug mit AlTiN-Beschichtung weist einen stark verschlissenen Zustand der Freifläche an der Außenschneide mit Zunahme in Richtung der Schnei-

denecke auf. Die Schneidenecke ist zudem ausgebrochen. Aufgrund des vorliegenden Verschleißes bei diesem Werkzeug sowie des Werkzeugbruchs bei Einsatz einer AlTiN-TiSiN-Teilbeschichtung ist festzustellen, dass für den betrachteten Prozess das Konzept der Teilbeschichtung dem Konzept der Vollbeschichtung deutlich unterlegen ist. Dies ist unabhängig vom aufgeführten Schichtsystem.

Der Verschleiß der Hauptschneide am vollbeschichteten AlTiN-TiSiN-Werkzeug ist deutlich geringer ausgeprägt, jedoch liegt ein Schneideneckenausbruch vor. An

der Führungsleiste ist ein Abrieb der Beschichtung im Ein- und Auslaufbereich zu erkennen. Weiterhin kann eine Verfärbung der Beschichtung an der Führungsleiste festgestellt werden. Der geringste Verschleiß liegt am Werkzeug mit einer AlTiN-Vollbeschichtung vor. Hier ist im Bereich der Schneidenecke lediglich eine geringe Materialanhaftung zu erkennen. Im Vergleich der eingesetzten Bohrer ist dieses Werkzeug als am besten für den betrachteten Prozess einzustufen.

In Bild 4 sind die erzeugten Bohrungsgüten in Form der Durchmesser- und der >>>

»» Rundheitsabweichung sowie die resultierenden Späne nach einem Bohrweg von  $L_f = 1,5$  m dargestellt. Das gegenüber dem Schneidteildurchmesser höhere Niveau der Bohrungsdurchmesser kann unter anderem über die aufgetragene Schichtdicke erklärt werden. Die erhöhte Durchmesserabweichung der resultierenden Bohrungen beim Einsatz des Einlippenbohrers mit AlTiN-TiSiN-Vollbeschichtung weist wie bei der Auswertung der Vorschubkraft erneut auf eine größere Schichtdicke gegenüber den anderen Versuchswerkzeugen hin. Der erzeugte Rundheitsfehler ist unabhängig von Schichtstoff und Beschichtungskonzept über einen Bohrweg von  $L_f = 6$  m annähernd konstant.

Die erzeugten kurzen Spanformen sind beim Einsatz der vollbeschichteten Einlippenbohrer als günstig zu beurteilen. Beim Einsatz des teilbeschichteten Werkzeuges treten teilweise lange Bandspäne auf. Letztere erhöhen die Gefahr von Verklemmung während des Bohrprozesses. Es kann angenommen werden, dass diese ungünstige Spanform durch den Einsatz der teilbeschichteten Werkzeuge begünstigt wird und dies auch zum Abscheren des mit AlTiN-TiSiN teilbeschichteten Bohrers geführt hat.

### Fazit

In den vorgestellten Ergebnissen wurde das Einsatzverhalten von Einlippenboh-

rern bei der Zerspanung des Vergütungsstahls 42CrMo4 mit reduziertem Schwefelgehalt in Abhängigkeit des Schneidstoffes und des Beschichtungskonzepts untersucht. Beim Einsatz unterschiedlicher Hartmetallkörnung ist am Werkzeug aus Feinkornhartmetall ein deutlich geringerer Verschleiß als an Werkzeugen mit feinerer Körnung zu erkennen. Im Vergleich der gewählten Beschichtungskonzepte erwies sich im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen eine PVD-Vollbeschichtung auf AlTiN-Basis als bester Verschleißschutz für den Bohrer. In weiteren Versuchen soll eine Steigerung der Schnittwertparameter mit der als optimal ermittelten Schneidstoff-Beschichtung-Kombination analysiert werden.

Danksagung: Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die die dargestellten Untersuchungen im Rahmen des Projekts ›Gestaltoptimierung von Einlippenbohrwerkzeugen durch Strahlspanen‹ (DFG BI 498 22) unterstützt. ■

→ **WB110879**

**Prof. Dr.-Ing. Dirk Biermann** ist Leiter des Instituts für Spanende Fertigung (ISF) der TU Dortmund  
[biermann@isf.de](mailto:biermann@isf.de)

**Dipl.-Wirt.-Ing. Robert Abmuth** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am ISF  
[assmuth@isf.de](mailto:assmuth@isf.de)

**Dipl.-Wirt.-Ing. Mark Wolf** ist ebenfalls wissenschaftlicher Mitarbeiter am ISF  
[wolf@isf.de](mailto:wolf@isf.de)

## LITERATUR

- 1 Byelyayev, O.: Erhöhung der Leistungsfähigkeit von HSS-Spiralbohrern durch Einsatz der magnetabrasiven Bearbeitung. Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 2008
- 2 Denkena, B.; Breidenstein, B.; Köhler, J.; Kramer, N.: Performance Enhancement of Coated Tungsten Carbide Drills by Pre- and Post-Coating Surface Preparation. Berichte aus dem IFW, 810 (2007), S. 247-255
- 3 Terwey, I.: Steigerung der Leistungsfähigkeit von Vollhartmetallwendelbohrern durch Strahlspanen. Dissertation, Technische Universität Dortmund, Vulkan Verlag, Essen, 2011
- 4 Abmuth, R.; Biermann, D.: Angepasste Schneidkantengestalt beim Einlippenbohren von nichtrostendem Stahl. Forum – Schneidwerkzeug- und Schleiftechnik, 25 (2012) 4, S. 66-69
- 5 Biermann, D.; Wolf, M.; Abmuth, R.: Cutting edge preparation to enhance the performance of single lip deep hole drills, Procedia CIRP, 1 (2012), S. 172-177
- 6 Klocke F.; Krieg T.: Coated Tools for Metal Cutting – Features and Applications. CIRP Annals – Manufacturing Technology 48 (1999) 2, S. 515-525
- 7 Mohlfeld, A.: PVD-beschichtete Hartmetallwerkzeuge zum Trockenbohren. Dissertation, Universität Hannover, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2000