Werkzeugherstellung ■ Schneidkantenverrundung ■ Beschichtung ■ Prozesskettenabstimmung

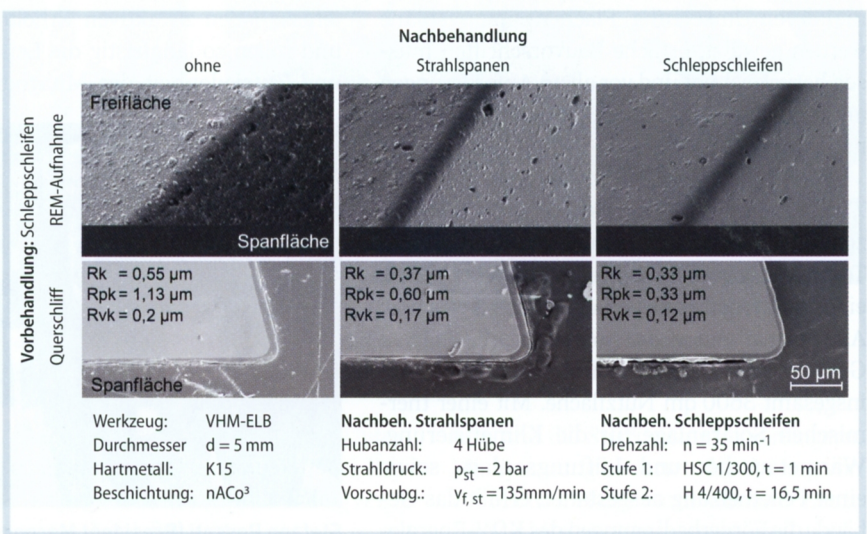
Vor- und Nachbehandlung beschichteter Einlippenbohrer

Eine hohe Leistungsfähigkeit von Zerspanungswerkzeugen wird nicht alleine durch die Optimierung der Einzelprozessschritte in der Werkzeugherstellung erreicht. In der Prozesskette ist darüber hinaus auch eine Abstimmung der Einzelschritte aufeinander erforderlich.

von Dirk Biermann, Mark Wolf, Frank Barthelmä und Petra Preiß

In der Prozesskette zur Werkzeugherstellung erfolgen nach dem Schleifprozess in der Regel eine Präparation der Schneidkante sowie eine anschließende Werkzeugbeschichtung. Die Schneidkantenpräparation (Vorbehandlung) dient dazu, mikroskopische Defekte, die aus dem Schleifprozess stammen, zu beseitigen und eine definierte, an den jeweiligen Zerspanungsprozess angepasste Schneidkantengestalt zu erzeugen [1]. Weiterhin wird durch die Verrundung eine gleichmäßigere Schichtanlagerung an der Schneidkante ermöglicht, was zur Reduzierung von internen Spannungen führt und die Schichthaftung begünstigt [2]. In Abhängigkeit des Beschichtungsverfahrens ist auch eine Nachbehandlung der aufgetragenen Verschleißschutzschicht sinnvoll: Durch das Entfernen beschichtungsbedingter Droplets wird die Oberflächentopografie positiv beeinflusst. Somit ist es möglich, Späne einfacher aus der Bohrung zu fördern, da die Reibung in den Spannuten reduziert wird [3].

Häufig wird eine Leistungssteigerung der hergestellten Werkzeuge durch die Optimierung von Einzelschritten erzielt. Erfolgt nach der Schneidkantenpräparation und Beschichtung auch eine Nachbehandlung, muss die gesamte Prozesskette aufeinander abgestimmt sein, um das volle Potenzial der Einzelschritte und mögliche Synergien auszuschöpfen.



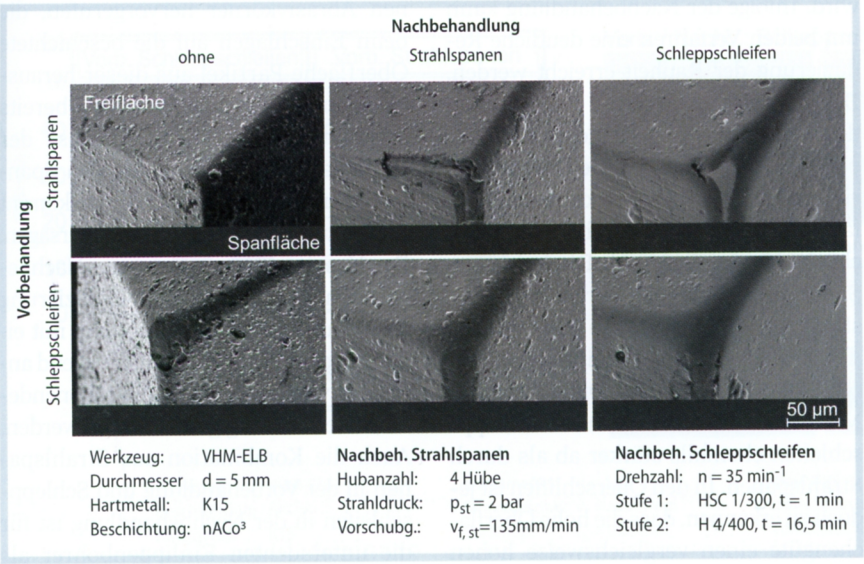
1 Einfluss von Beschichtung und Nachbehandlung auf die Außenschneide [4] (Bild: ISF, GFE)

Eine solche Abstimmung der Prozesskette zur Leistungssteigerung von Zerspanungswerkzeugen mit dem Schwerpunkt der Schichtnachbehandlung ist in einem gemeinsamen Forschungsvorhaben der Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung Schmalkalden e.V. (GFE) und des Instituts für Spanende Fertigung der TU Dortmund (ISF) untersucht worden.

Experimentelle Randbedingungen

Der Einfluss der Nachbehandlung auf die Beschichtung sowie die Wechselwirkungen innerhalb der Prozesskette wurden am Beispiel des Tiefbohrens mit Einlippenbohrern untersucht. Zur Anwendung kamen Vollhartmetall-Einlippenbohrer des Durchmessers d = 5 mm. Die Schneidkantenpräparation erfolgte über die Verfahren Nassstrahlspanen (Strahlspanen) auf Basis des Injektorprinzips (am ISF) und Schleppschleifen (bei der GFE), mit denen eine symmetrische Verrundung von r_β = 15 µm erzeugt wurde. Als Beschichtung ist das Schichtsystem nACo³ der Platit AG gewählt worden, welches mithilfe des Lichtbogenverdampfens (Arc-PVD) in der GFE abgeschieden wurde. Hierbei handelt es sich um ein Triple-Schichtsystem mit einer TiAlN/α-Si_3N_4-Deckschicht und einer

© Carl Hanser Verlag, München



2 Einfluss der Kombination aus Vor- und Nachbehandlung auf den Bereich der Schneidenecke [4] (Bild: ISF, GFE)

3 Experimentelle Randbedingungen der Bohrversuche [4] (Bild: ISF, GFE)

gradierten AlTiN-Kernschicht. Als Haftschicht wird TiN eingesetzt.

Verfahrensbedingt kommt es bei solchen Arc-PVD-Beschichtungen zu einer hohen Oberflächenrauheit, die durch tröpfchenförmige Partikel des verdampften Kathodenmaterials (Droplets) verursacht wird. Diese Partikel lagern sich in unregelmäßiger Anordnung auf der Werkzeugoberfläche an und bilden in der Höhe exponierte Oberflächenelemente aus.

Strahlspanen und Schleppschleifen im Vergleich

Einlippenbohren zeichnet sich durch ein hohes realisierbares Länge-zu-Durchmesser-Verhältnis (l/D-Verhältnis) der erzeugten Bohrungen aus. Bei hohen l/D-Verhältnissen muss für den gesamten Prozess ein kontinuierlicher Spantransport gewährleistet werden, da andernfalls Spanklemmer zu einem Werkzeugversagen führen können. Das macht eine Behandlung der Beschichtung notwendig. Zur Nachbehandlung kamen erneut die Verfahren Strahlspanen (ISF) und Schleppschleifen (GFE) zum Einsatz. Da bei der Nachbehandlung nur ein geringer Materialabtrag generiert werden soll, ist eine Anpassung der Prozessparameter im Vergleich zur Schneidkantenverrundung erforderlich. Beim Schleppschleifen kamen innerhalb eines zweistufigen Prozesses Abrasivmedien mit Anteilen von Walnussgranulat zur Anwendung. Der Strahlspanprozess zur Nachbehandlung basiert auf dem Prinzip des Nassdruckstrahlens und wird mit einem feinkörnigen Abrasivmedium (FEPA 500) und geringen Strahldrücken durchgeführt. Für die Präparation übt eine Düsenbatterie eine lineare Pendelbewegung mit definiertem Abstand parallel zur Werkzeugachse aus (Hub). Die Vorschubgeschwindigkeit dieser Oszillationsbewegung wird als Strahlvorschubgeschwindigkeit $v_{f,st}$ bezeichnet. In Bild 1 sind der beschichtete Ausgangszustand sowie der durch die Nachbehandlung erzielte Einfluss auf die Oberfläche an der Außenschneide des Werkzeugs dargestellt. Die Vorbehandlung der Schneidkante erfolgte durch das Schleppschleifen. Die Resultate sind für den Bereich der Außenschneide bei der Vorbehandlung durch Strahlspanen vergleichbar.

Im oberen Bildabschnitt sind Aufnahmen der Spanflächen zu erkennen, die verschiedenen Nachbehandlungen unterzogen wurden. Diese Aufnahmen sind mithilfe eines Rasterelektronenmikroskops (REM) des ISF erstellt worden. Im unteren Bildabschnitt sind Querschliffe der entsprechenden Werkzeuge gezeigt (Bild 1). Weiterhin sind Oberflächenkennwerte der Spannuten dargestellt, die mithilfe eines konfokalen Weißlichtmikroskops ermittelt wurden. Das Werkzeug, das nach der Beschichtung nicht nachbehandelt wurde, lässt eine Vielzahl an beschichtungsbedingten Droplets erkennen. Hierdurch ergibt sich eine hohe Oberflächenrauheit, die vor allem durch den hohen Wert der reduzierten Spitzenhöhe Rpk bestätigt »

Fundiert und praxisnah: HANSER Tagungen und Messen.
www.hanser-tagungen.de/metall
HANSER Tagungen und Messen

INFORMATION & SERVICE

INSTITUTE

Institut für Spanende Fertigung (ISF)
Technische Universität Dortmund
44227 Dortmund
Tel. +49 231 7552784
www.isf.de

GFE – Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung Schmalkalden e.V.
98574 Schmalkalden
Tel. +49 3683 69000
www.gfe-net.de

LITERATUR

[1] *B. Denkena, D. Biermann:* Cutting edge geometries. CIRP Annals – Manufacturing Technology 63 (2014), S. 631–653

[2] *T. Cselle:* Präparationsverfahren – Schneidkantenpräparation für zu beschichtende Zerspanwerkzeuge. In: Schneidkantenpräparation. (Hrsg.) Tikal, F., kassel unversity press GmbH, 2009, S. 130–145

[3] *B. Denkena, B. Breidenstein, J. Köhler, N. Kramer:* Performance Enhancement of Coated Tungsten Carbide Drills by Pre- and Post-Coating Surface Preparation. Berichte aus dem IFW, 810 (2007), S. 247–255

[4] *F. Barthelmä, D. Biermann, P. Preiß, M. Wolf:* Abschlussbericht AiF-Vorhaben-Nr. 17348 BG: Untersuchungen zum Einfluss der Schichtnachbehandlung auf das Einsatzverhalten von VHM-Präzisionsbohrwerkzeugen, 2014

DIE AUTOREN

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

Dipl.-Wirt.-Ing. Mark Wolf ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am ISF
wolf@isf.de

Prof. Dr.-Ing. Frank Barthelmä ist Leiter des Instituts für Werkzeugtechnik und Qualitätsmanagement der GFE – Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung Schmalkalden e.V.
f.barthelmae@gfe-net.de

Dipl.-Ing. Petra Preiß ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der GFE
p.preiss@gfe-net.de

PDF-DOWNLOAD

www.werkstatt-betrieb.de/**982535**

wird. Infolge der Nachbehandlung kann mit beiden Verfahren eine deutliche Reduzierung der Rauheit erreicht werden. Die gestrahlte Oberfläche wirkt jedoch deutlich rauer als die schleppgeschliffene. Die durch herausgelöste Droplets zurückgelassenen Krater erscheinen ebenfalls tiefer. Dies wird durch die Oberflächenkennwerte bestätigt. Die reduzierte Spitzenhöhe Rpk wird durch den Nassstrahlspanprozess um 46 Prozent und durch den Schleppschleifprozess um 63 Prozent reduziert. Die reduzierte Muldentiefe Rvk nimmt durch Schleppschleifen ebenfalls stärker ab als durch Strahlspanen. In den Querschliffen ist jedoch zu erkennen, dass die hohe Oberflächengüte einen vergleichsweise hohen Abtrag der Beschichtung zur Folge hat und so die Schichtdicke reduziert wird. Der Einfluss des Nassstrahlspanens auf die Schichtdicke fällt gering aus.

Nicht abgestimmte Prozesskette kann zu Schichtversagen führen

Während der Einfluss der Kombination aus Vor- und Nachbehandlung auf den Bereich der Außenschneide sowie auf die Innenschneide gering ist, zeigen sich im Bereich der Schneidenecke teilweise erhebliche Unterschiede, welche in Bild 2 verdeutlicht sind.

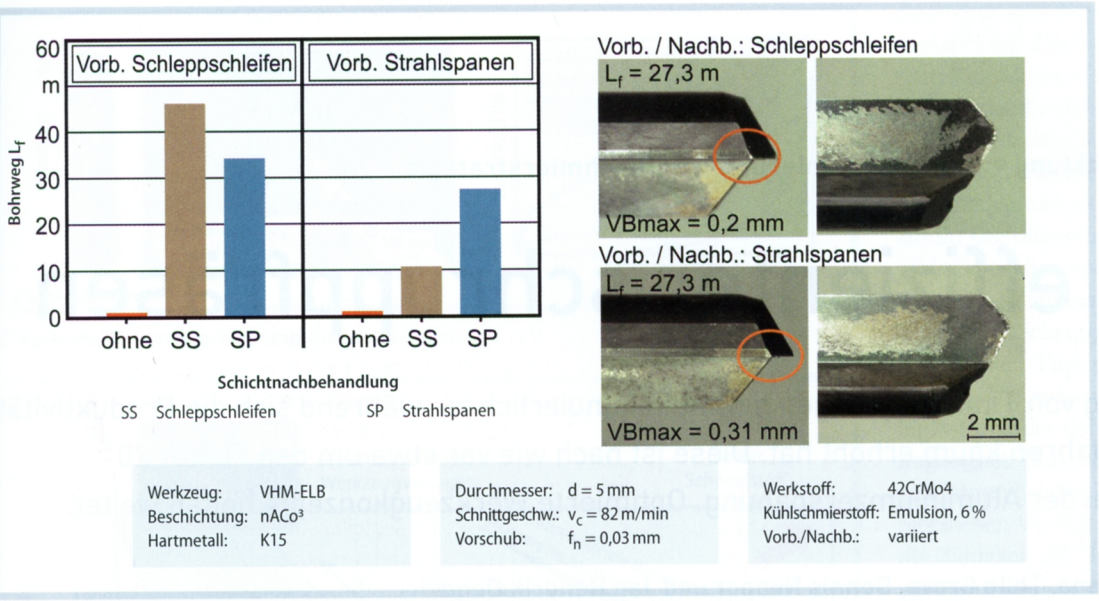
Durch die kinematische Umsetzung des Nassstrahlspanprozesses zur Schneidkantenpräparation mithilfe eines Roboters können Innen- und Außenschneide gezielt verrundet werden. Die geringe Beeinflussung der angrenzenden Nebenschneide sowie des angrenzenden Übergangs von Haupt- in Nebenfreifläche hat zur Folge, dass diese Bereiche sowie auch die Schneidenecke nach der Präparation relativ scharfkantig bleiben. Im Gegensatz dazu sind diese Bereiche bei den Werkzeugen, die durch Schleppschleifen vorbehandelt wurden, deutlich verrundet. Da das komplette Schneidteil zur Präparation in das Abrasivmedium getaucht wird, kann der Materialabtrag nur schwer auf einzelne Bereiche begrenzt werden.

Bei der Nachbehandlung kommt es – in Abhängigkeit der Vorbehandlung – zu unterschiedlichen Bearbeitungsergebnissen an der Schneidenecke. Auffällig ist die Schichtabplatzung des Werkzeuges, das über Nassstrahlspanen sowohl vor- als auch nachbehandelt wurde. Der Materialabtrag durch den Strahlprozess wird durch die kinetische Energie der einzelnen Abrasivkörner hervorgerufen, die beim Einschlagen auf die beschichtete Oberfläche Partikel aus dieser herauslösen. In Verbindung mit dem bereits erwähnten ungünstigen Einfluss des scharfkantigen Bereiches auf den Spannungszustand der Beschichtung kommt es hier zu einem lokalen Schichtversagen. Der Nassstrahlspanprozess zur Nachbehandlung sollte durch eine Reduzierung des Strahldruckes in Verbindung mit einer längeren Prozesszeit entsprechend angepasst werden. So kann ein schonenderer Materialabtrag gewährleistet werden. Auch die Kombination aus Strahlspanen in der Vorbehandlung und Schleppschleifen in der Nachbehandlung ist für die untersuchten Einlippenbohrer als ungünstig einzustufen. Die höchste Relativgeschwindigkeit zwischen nachzubehandelndem Werkzeug und Abrasivmedium liegt beim Schleppschleifen im Bereich des größten Werkzeugradius vor. In der Folge ist der Materialabtrag an der Schneidenecke maximal. In Verbindung mit dem bei der Kantenpräparation durch Nassstrahlspanen bedingten relativ geringen Materialabtrag wird die Beschichtung mit der Nachbehandlung abgetragen und das darunterliegende Substrat verrundet. Als empfehlenswert sind die Kombinationen aus Schleppschleifen zur Vorbehandlung und Nassstrahlspanen oder ein erneutes Schleppschleifen zur Nachbehandlung einzustufen. In beiden Fällen bleibt die Beschichtung auch nach der Nachbehandlung weitestgehend intakt. Schleppschleifen in der Nachbehandlung zeichnet sich darüber hinaus durch die hohe realisierbare Oberflächengüte aus.

Nachbehandlung verhindert Spanklemmer

Zur Analyse des Einsatzverhaltens der unterschiedlichen schichtvor- und nachbehandelten Einlippenbohrer wurden im Versuchsfeld der GFE Schmalkalden Zerspanversuche durchgeführt. In Bild 3 ist der Versuchsaufbau mit den entsprechenden Bearbeitungsparametern und Randbedingungen gezeigt, unter denen der Nachweis der positiven Wirkung der Schichtvor- und Nachbehandlung auf die Verschleißbeständigkeit erbracht werden konnte.

Die Auswertung der Versuche konzentrierte sich dabei auf die Ermittlung des maximalen Bohrwegs L_f bei einem Verschleißkriterium (Abbruchkriterium)



4 Einfluss von Vor- und Nachbehandlung auf den Werkzeugverschleiß [4]
(Bild: ISF, GFE)

der maximalen Verschleißmarkenbreite von VBmax = 0,3 mm. Der zu bearbeitende Werkstoff 42CrMo4 lag im vergüteten Zustand vor. Die Ergebnisse der Zerspanversuche sind in Bild 4 dargestellt, wobei der durchschnittliche Bohrweg aus drei Einzelversuchen je Verfahrenskombination ermittelt wurde.

Zunächst zeigt sich, dass bei der Zerspanung mit Werkzeugen ohne Schichtnachbehandlung erhebliche Probleme auftreten, die in Werkzeugbrüchen nach teils nur wenigen Bohrungen resultieren. Als Ursache kommen vor allem Spanklemmer infrage, da die Späne aufgrund der hohen Reibung mit der sehr rauen Spannut nicht prozesssicher aus der Bohrung gefördert werden können. Im Gegensatz dazu stehen die angewandten optimierten Schichtnachbehandlungsstrategien, die es ermöglichen, Bohrwege von mehr als L_f > 45 m zu erreichen. Sowohl durch das Schleppschleifen als auch das Strahlspanen als Schichtnachbehandlungsverfahren konnten deutlich höhere Standwege als bei der Bearbeitung mit unbehandelten Werkzeugen erreicht werden.

Die Einsatzversuche zeigen weiterhin, dass Unterschiede hinsichtlich der Wirkung der einzelnen Vorbehandlungsverfahren existieren. Werkzeuge, die im konkreten Anwendungsfall mithilfe des Verfahrens Schleppschleifen vor dem Beschichten verrundet wurden und bei denen auch die Schichtnachbehandlung durch Schleppschleifen erfolgte, erreichten im Zerspanversuch gegenüber anderen untersuchten Kombinationen im Durchschnitt die beste Verschleißbeständigkeit. Dies korreliert mit den Analysen der Beschichtung und der Oberflächentopografie nach angewandter Schichtvor- und Schichtnachbehandlung. Aufgrund des hohen Materialabtrages bei der Nachbehandlung durch Schleppschleifen stellt jedoch eine ausreichende Schichtdicke eine wichtige Voraussetzung dar.

Fazit

Die im Rahmen der Untersuchungen angewandten Verfahren Schleppschleifen und Nassstrahlspanen sind sowohl für die Vor- als auch die Nachbehandlung von Werkzeugen beziehungsweise Hartstoffschichten geeignet. Für den betrachteten Bohrprozess ist eine Nachbehandlung sogar zwingend erforderlich, um die angestrebten Leistungssteigerungen durch Standwegerhöhungen bei Tiefbohrwerkzeugen realisieren zu können. Hierbei spielen auch die verfahrensspezifischen Einflüsse auf die erzeugte Oberflächentopografie eine Rolle. Generell ist anzunehmen, dass die Verschleißbeständigkeit der Werkzeuge in der erhöhten Oberflächengüte begründet ist. Die maximale Oberflächengüte wurde in den Untersuchungen durch das Schleppschleifen zur Schichtnachbehandlung erzeugt. Es wird jedoch auch deutlich, dass die Schichtnachbehandlung nicht losgelöst von der insgesamt zu realisierenden Prozesskette zu betrachten ist. Erst durch das optimale Zusammenspiel zwischen der Schneidenmikrogestalt, einer geeigneten Beschichtung und deren gezielten Schichtnachbehandlung sowie der detaillierten Abstimmung der Verfahrensparameter war bei den untersuchten Einsatzfällen eine wesentliche Steigerung des Leistungsvermögens der Präzisionsbohrwerkzeuge im Zerspanungsprozess möglich.

Danksagung

Das IGF-Vorhaben 17348 BG wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert und durch das Forschungskuratorium Maschinenbau e. V. (FKM) betreut. ■