

D. Biermann, M. Wolf, T. Heymann

Magnetfinishen zur Präparation von VHM-Werkzeugen

Untersuchungen zur Oberflächenbearbeitung von Spannuten

Teil 2

Im vorgestellten zweiteiligen Artikel wird das Magnetfinishen als alternatives Verfahrensprinzip zu den bislang eingesetzten Prozessen Strahlspanen, Schleppschleifen und Bürsten zur Präparation von Vollhartmetallschaftwerkzeugen vorgestellt. Im bereits erschienenen Teil 1 wurden zunächst das generelle Funktionsprinzip sowie die Umsetzung des Magnetfinishens auf einer Schütte Werkzeugschleifmaschine betrachtet. Im zweiten nachfolgend dargestellten Teil des Artikels werden Ergebnisse hinsichtlich der Schichtvor- und Nachbehandlung durch das Magnetfinishen an Vollhartmetallzerspannungswerkzeugen aufgezeigt.

Im ersten Teil dieses Artikels wurden die Grundprinzipien des Magnetfinishverfahrens erläutert^[1]. So ergeben sich aus den vielfältigen Prozesseinstellgrößen diverse Möglichkeiten Zerspanwerkzeuge zu bearbeiten. Zwei wesentliche Anwendungsfelder beschreiben die Vorbearbeitung vor der Beschichtung, d. h. die Kantenpräparation sowie die Oberflächenfeinbearbeitung der Spannuten und die Nachbearbei-

tung in Form einer Glättung der aufgetragenen Verschleißschutzschichtsysteme bei Vollhartmetallschaftwerkzeugen. Im Folgenden werden Ergebnisse zu diesen Themen vorgestellt und diskutiert. Die erreichbare Oberflächenqualität und Verrundung der komplexen Kanten an Zerspanwerkzeugen bei der magnetabrasiven Bearbeitung ist dabei abhängig von der Verfahrensvariante, der Bearbeitungs kinematik, der Bearbeitungsdauer, der ursprünglichen Oberflächenqualität des Werkstücks, dem Abrasivmedium, dem Werkstückgestalt^[2,3]. Bereits durchgeführte Forschungsarbeiten belegen das hohe Potenzial der magnetabrasiven Bearbeitung in Bezug auf eine Verbesserung der Kanten- und Oberflächenqualität an Zerspanwerkzeugen. So konnte mit einer Bearbeitungszeit von $t_E=80$ s eine Oberflächenrauheit von $R_a=0,4...0,05$ μm erreicht werden. Ebenso konnte eine 60 prozentige Reduzierung der Kantenschartigkeit realisiert werden^[4,5,6].

Ausgangszustand

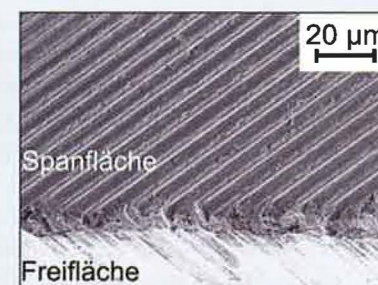
Vor der magnetabrasiven Bearbeitung steht der Schleifprozess. Hier werden die komplexen Flächen eines Zerspanwerkzeuges in aufeinander folgenden Arbeitsschritten mit zum Teil unterschiedlichen Schleifscheiben

gefertigt, was in ungleichmäßigen Oberflächenstrukturen der einzelnen Flächen resultieren kann. Diesen Aspekt gilt es bei der nachfolgenden magnetabrasiven Feinbearbeitung für ein optimales Ergebnis zu berücksichtigen. Innerhalb der nachfolgend gezeigten Untersuchungen zur Vorbearbeitung der Spannuten vor dem Beschichtungsprozess an Vollhartmetallwerkzeugen, wurden diese mit einer hybrid gebundenen Schleifscheibe der Firma Winter geschliffen. Die genauen Spezifikationen sowie die nach dem Schleifprozess vorherrschende Oberflächentopographie werden in Bild 1 veranschaulicht.

Deutlich zu erkennen sind die aus dem Schleifprozess resultierenden Schleifriefen und eine Oberflächenqualität im Bereich von $R_z=4...5$ μm . Ebenfalls ersichtlich ist die ausgeprägte Schartigkeit der Schneidkante welche in diesem Falle auch von der Schrubbearbeitung der Spitzengeometrie des Werkzeuges verursacht wird. Für die nachfolgenden Untersuchungen ist aus diesem Grunde die Freifläche nicht weiter bearbeitet worden.

Oberflächenfeinbearbeitung von Spannuten

In den am Institut für Spanende Fertigung (ISF) durchgeführten Voruntersuchungen wurde he-



Schleifende Vorbearbeitung:
 Schleifscheibe: Hybridbindung Q-Flute² D46 C75
 Werkstück: Rundrohling $d = 8$ mm
 Material: Hartmetall TSM 33 (10% Kobalt)
 Schnittgeschw.: $v_c = 15$ m/s
 Vorschubgeschw.: $v_f = 150$ mm/min
 KSS-Strategie: Freistrahldüse + Löschdüse
 nichtwassermischbarer KSS
 Mineralöl ($v_{40^\circ\text{C}} = 7,5$ mm²/s)

Bild 1

Geschliffener Ausgangszustand vor der magnetabrasiven Bearbeitung.

rausgestellt, dass die wesentlichen, das Prozessergebnis beeinflussenden Faktoren für eine Behandlung der Spannutoberfläche die Prozessdauer sowie die Drehzahl des Arbeitskopfes darstellen. Aus diesem Grund wird diesen Prozessparametern und deren Auswirkungen auf die resultierende Oberflächenstruktur innerhalb der Spannuten besondere Aufmerksamkeit gewidmet. In Bild 2 sind qualitativ die mittels eines Rasterelektronenmikroskops (REM) aufgenommenen Oberflächenstrukturen in Abhängigkeit der Arbeitskopfdrehzahl dargestellt. Dabei wurde der Prozess trocken (nur mit Schleiföl angefeuchtetes Abrasivpulver) und unter Einsatz einer Drehzahl des Sekundärkopfes von $n_2=80$ min⁻¹, einer Vorschubgeschwindigkeit beim Einfahren von $v_{f1}=700$ mm/min, einer Vorschubgeschwindigkeit beim Ausfahren von $v_{f2}=60$ mm/min sowie einer Verweilzeit innerhalb des Magnetfinishkopfes $t_E=30$ s durchgeführt. Als Magnetfinishpulver kam ein nanoabrasives Pulver der Firma Magnetfinish zum Einsatz. Das Abrasivmedium stellt dabei eine Diamantkörnung dar. Bild 2 zeigt sowohl die Schneidenecke als auch die Spanfläche nach der magnetabrasiven Bearbeitung. Während bei einer geringen Arbeitskopfdrehzahl von $n=50$ min⁻¹ auf der Spanfläche noch deutlich die aus dem vorangegangenen Schleifprozess resultierenden Riefen und Ausbrüche an der Schneidenecke erkennbar sind, wird die Oberfläche mit zunehmender Arbeitskopfdrehzahl mehr und mehr eingeebnet. So ergibt

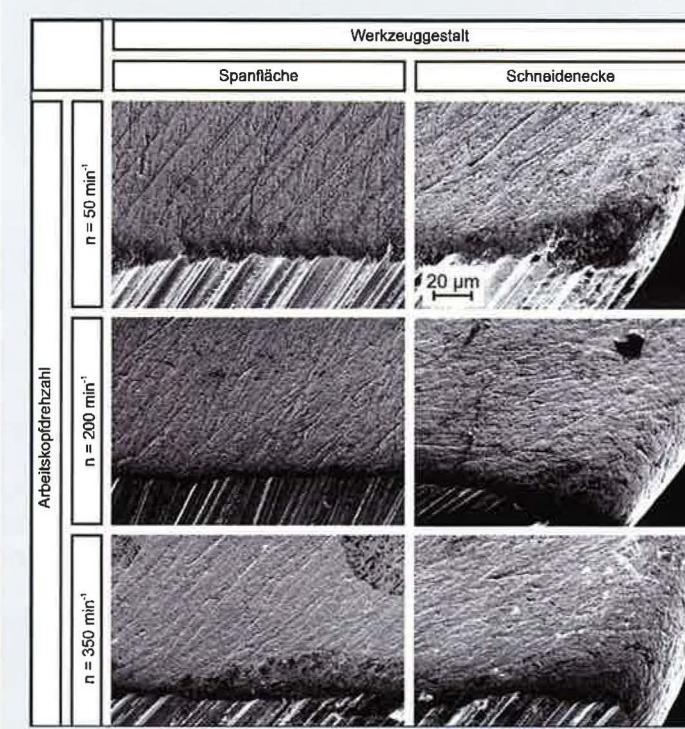


Bild 2

Oberflächentopographie in Abhängigkeit der Arbeitskopfdrehzahl.

sich qualitativ betrachtet bei einer Arbeitskopfdrehzahl von $n=350$ min⁻¹ die beste Oberflächenstruktur auf der Spanfläche einhergehend mit der größten Verrundung der Schneidenecke. Die magnetabrasive Bearbeitung wurde dabei so ausgelegt, dass das Abrasivmedium vom Werkzeug zur Werkzeugspitze strömt. So wird eine nur geringe Schneidkantenverrundung und vornehmlich eine Glättung der Spannutoberfläche erreicht.

Hinsichtlich des Einflusses der Bearbeitungszeit auf die sich ergebende Oberflächentopographie kann zunächst festgestellt werden, dass schon nach einer relativ kurzen Bearbeitungszeit von nur $t_E=10$ s eine deutliche Einebnung der Oberfläche erzeugt wird. Zusätzlich kann hier,

ähnlich wie zuvor bei der Betrachtung der Arbeitskopfdrehzahl, mit zunehmender Bearbeitungszeit bis zu einem Wert von $t=40$ s eine Verbesserung der Oberfläche erzielt werden. Eine weitere Steigerung der Bearbeitungszeit führt, wie in Bild 3 erkennbar ist, zu keiner weiteren signifikanten Verbesserung. Sowohl die Verrundung der Schneidenecke als auch die Oberflächengüte verbessern sich ab einer Bearbeitungszeit von $t=40$ s nicht mehr, so dass für den hier präsentierten Anwendungsfall diese Bearbeitungszeit empfohlen werden kann.

Mit der Betrachtung der vorangegangenen Ergebnisse wird deutlich, dass die magnetabrasive Bearbeitung qualitativ betrachtet eine gute und effiziente



Prof. Dr.-Ing. Dirk Biermann
 Leiter des Institutes für Spanende Fertigung (ISF) an der TU Dortmund



Dipl. Wirt.-Ing. Mark Wolf
 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Schleiftechnologie des ISF seit 2011



Dipl. Wirt.-Ing. Tobias Heymann
 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Schleiftechnologie des ISF seit 2008

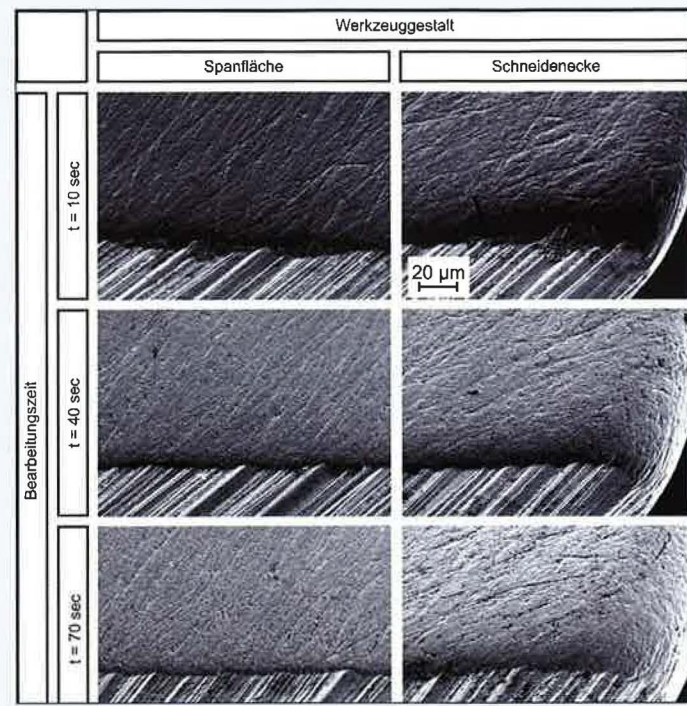


Bild 3
Oberflächentopographie in Abhängigkeit der Bearbeitungszeit.

Möglichkeit darstellt, Vollhartmetallzerspanwerkzeuge an den jeweiligen Anwendungsfall anzupassen und die Leistungspotenziale dieser Werkzeuge weiter zu steigern.

Nachbehandlung von Verschleißschichten

Das Magnetfinishverfahren ist neben der Feinbearbeitung von unbeschichteten Schaftwerkzeugen nach dem Schleifprozess auch zur Nachbehandlung von Verschleißschichten an diesen Werkzeugen einsetzbar. Wesentliche Ziele der Nachbehandlung sind die Begünstigung des Spannungszustandes sowie die positive Beeinflussung der

Schichttopographie am Schneidteil^[4,7,9]. Von besonderem Interesse ist die Schichtnachbehandlung an Werkzeugen, die über das ACR-PVD-Verfahren beschichtet wurden. Bei diesem PVD-Verfahren wird das Targetmaterial durch einen Lichtbogen verdampft und scheidet sich im Anschluss am Substrat ab. Prozessbedingt kommt es neben dem Wachstum der eigentlichen Beschichtung auch zu einer Anlagerung von tropfenförmigen Makropartikeln des Targetmaterials^[9,10,11]. Diese als Droplets bezeichneten Partikel wirken als Fehlstellen in der Beschichtung und üben einen negativen Einfluss auf diese sowie auf das Einsatzverhalten des Werkzeuges

aus^[4,11]. In Bild 4 sind exemplarisch Droplets einer TiAlN-Beschichtung in unterschiedlich ausgeprägter Intensität an verschiedenen VHM-Bohrwerkzeugen gezeigt. Die REM-Aufnahme im linken Teil der Abbildung lässt eine starke Ansammlung von Droplets im Bereich der Querschneide eines Wendelbohrers erkennen, der im rechten Teil gezeigte Schneideneckenbereich weist nur vereinzelte Partikel auf.

Aus den REM-Aufnahmen ist ersichtlich, dass entsprechend der Größe und Anzahl der in und auf der Beschichtung vorliegenden Droplets, die Schichttopographie beeinträchtigt wird. Insbesondere in Spannuten von Schaftwerkzeugen ruft die hierdurch erhöhte Schichtrauheit beim Spanabtransport eine höhere Reibung hervor^[4,10]. Untersuchungen an Bohrwerkzeugen haben gezeigt, dass die mechanische Werkzeugbelastung durch Vorschubkraft und Bohrmoment höher ist als bei einer dropletfreien Oberfläche^[6]. Weiterhin ist die Entstehung von Verspannungen und Mikrorissen in der Beschichtung durch die Ein- und Anlagerung von Droplets möglich^[4,11]. Das Herauslösen dieser Partikel durch den eigentlichen Zerspanprozess ist als nachteilig einzustufen. Bei Kontakt des Spans mit den Droplets werden diese unter einer hohen dynamischen Belastung schlagartig aus der Beschichtung herausgerissen. Die umgebende Schichtstruktur kann dabei er-

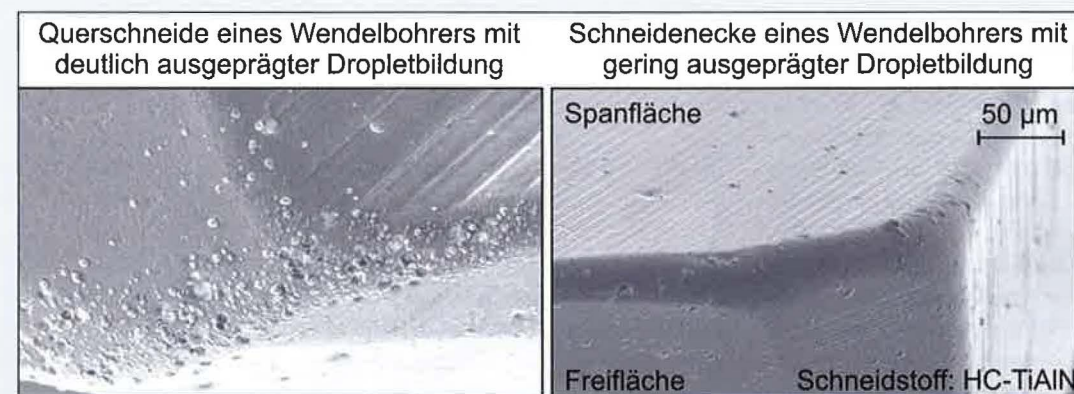


Bild 4
Droplets auf TiAlN Beschichtungen verschiedener Bohrwerkzeuge.

heblich geschädigt werden und im Prozess frühzeitig versagen. Weiterhin fördern herausgelöste Partikel den Abrasivverschleiß der Beschichtung, wenn diese zwischen Span und Werkzeug abgeleitet werden^[4]. Die Herausforderung einer Schichtnachbehandlung besteht darin, durch den eingesetzten Abrasivprozess nur die Droplets zu entfernen, nicht aber die eigentliche Beschichtung abzutragen oder die Schichtstruktur, welche die Droplets umgibt, zu schädigen^[4,7].

Im Folgenden wird die Eignung der gewählten Umsetzung der magnetabrasiven Bearbeitung auf die Oberflächentopographie in Bild 5 ein VHM-Bohrwerkzeug dargestellt, welches exemplarisch mit einer Arbeitskopfdrehzahl von $n=300 \text{ min}^{-1}$ sowie einer Verweilzeit ohne Vorschub im Arbeitsspalt von $t_E=30 \text{ s}$ nachbehandelt wurde.

Am nachbehandelten Werkzeug ist ein signifikanter Topographieunterschied zwischen Frei- und Spanfläche zu erkennen. Dieser wird durch die gewählte Prozesskinematik verursacht. Ein Kontakt des Mediums mit der Freifläche wird größtenteils unterbunden. Ein Vorteil dieser Kinematik ist, dass keine Verringerung der Schichtdicke im Bereich der Schneide hervorgerufen wird, jedoch sind auf dem zur Freifläche geneigten Teil der Schneide noch vereinzelte kleine Droplets zu erkennen. Die Oberfläche der Freifläche entspricht damit noch dem originären Zustand nach der Beschichtung. Zu erkennen ist dort eine Vielzahl an Droplets, die in ihrer Form und Größe stark variieren. Da vor der Beschichtung keine Behandlung der Spannuten durchgeführt wurde, ist die Struktur des Schleifprofils noch zu erkennen. Diese ist jedoch größtenteils durch die Beschichtung überdeckt. An der Spanfläche hingegen ist ein deutlicher Einfluss der magnetabrasiven

Am nachbehandelten Werkzeug ist ein signifikanter Topographieunterschied zwischen Frei- und Spanfläche zu erkennen. Dieser wird durch die gewählte Prozesskinematik verursacht. Ein Kontakt des Mediums mit der Freifläche wird größtenteils unterbunden. Ein Vorteil dieser Kinematik ist, dass keine Verringerung der Schichtdicke im Bereich der Schneide hervorgerufen wird, jedoch sind auf dem zur Freifläche geneigten Teil der Schneide noch vereinzelte kleine Droplets zu erkennen. Die Oberfläche der Freifläche entspricht damit noch dem originären Zustand nach der Beschichtung. Zu erkennen ist dort eine Vielzahl an Droplets, die in ihrer Form und Größe stark variieren. Da vor der Beschichtung keine Behandlung der Spannuten durchgeführt wurde, ist die Struktur des Schleifprofils noch zu erkennen. Diese ist jedoch größtenteils durch die Beschichtung überdeckt. An der Spanfläche hingegen ist ein deutlicher Einfluss der magnetabrasiven

Neu

Neu

Neu



Zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2008



GEIGER

40 Jahre Erfahrung im Sondermaschinenbau

AP-650 Manuelle Profiliermaschine mit Bilderkennung
Für Schleifstifte, Diamant-, und CBN-Scheiben bis Ø 700
Digitale Positionsanzeige der Achsen Y, U, V und C
Option: Automatisches Schwenken der C-Achse

Neuprofilieren Abrichten Nachprofilieren

CNC-750-FD-50-150 5-Achsen-Profiliermaschine
für Diamant- und CBN-Scheiben bis Ø 800
Scheibenprofilbilderkennung mit CCD-Kamera mit 30 mm
Blickfeld und 16fach Zoomfunktion
Verwaltung von DXF-Dateien
freie ISO-Programmierung

Vollautomatische 5-Achsen-Anfasmaschine
Werkstückdurchmesser: 3-30mm
Zuführmagazin
Schleifen der Kühlkanalverbindungsnut

Multischleifzentrum
6-fach Scheibenwechsler mit Körperschallsensor

Rudolf Geiger Maschinenbau GmbH

Präz.- Dreh- Fräs- Schleifteile
D-91320 Ebermannstadt - OT Rüssenbach
Telefon: +49 (0) 91 94 / 73 77 - 0 Fax: -50
eMail: rudolf@geiger-gmbh.de
Internet: www.geiger-gmbh.de

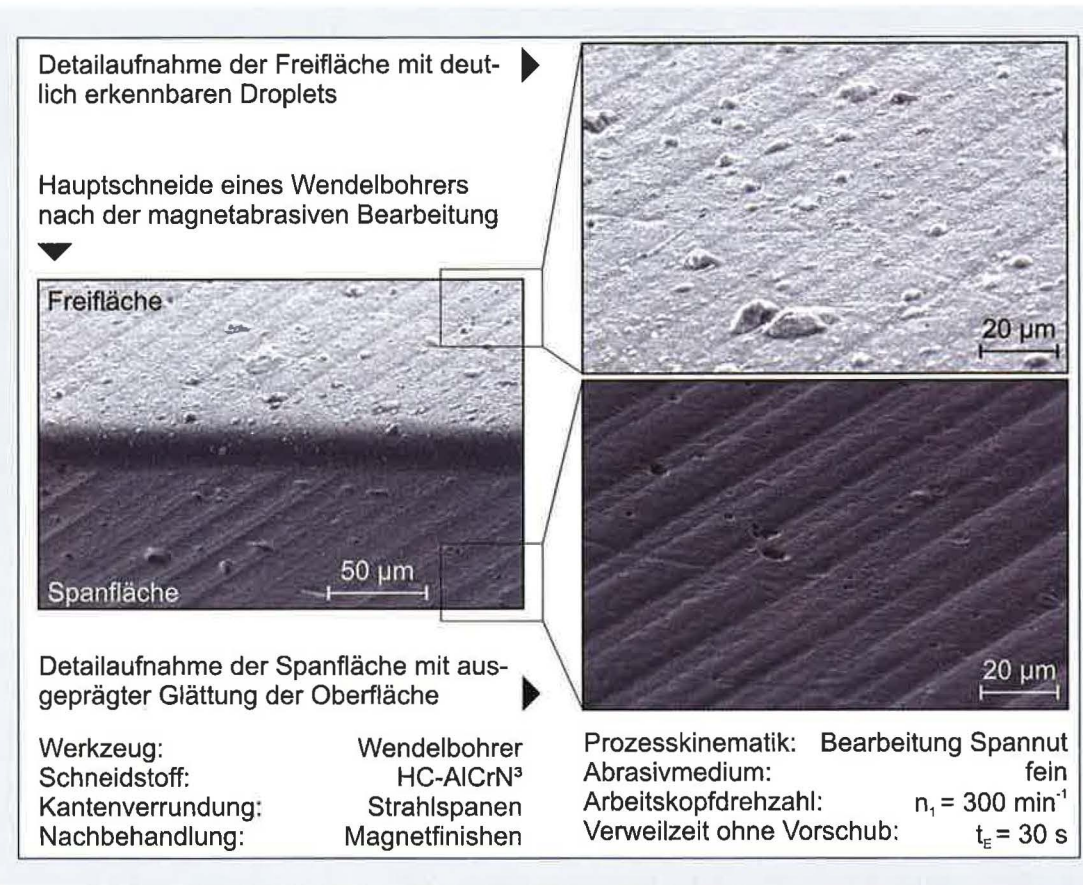


Bild 5
Oberflächen-topographie der Hauptschneide nach der magnet-abrasiven Bearbeitung.

Bearbeitung zu erkennen. Die Droplets sind fast vollständig entfernt worden und das Profil wirkt glatt. Zurückgeblieben sind einige Poren von herausgelösten Droplets, deren Ränder jedoch ebenfalls geglättet wirken. Von diesen Poren in die umliegende Beschichtung übergehende mikroskopische Defekte oder Abplatzungen sind im Ras-

terelektronenmikroskop nicht zu erkennen. Es fällt auf, dass die Anzahl der Poren kleiner ist als die Anzahl der vorher vorhandenen Droplets. Dies ist zum einen damit zu begründen, dass einige Droplets nur oberflächlich anhaften und rückstandlos entfernt wurden, zum anderen werden Poren mit einer nur geringen Tiefe durch die Glättung

der umgebenden Beschichtung wieder eingeebnet. Zur weiteren Beurteilung der bearbeiteten Spannut werden in Bild 6 Aufnahmen des gleichen Werkzeuges vor und nach der Nachbehandlung von einem konfokalen Weißlichtmikroskop betrachtet. Hiermit lässt sich die Topographie der Spanfläche detailliert analysieren.

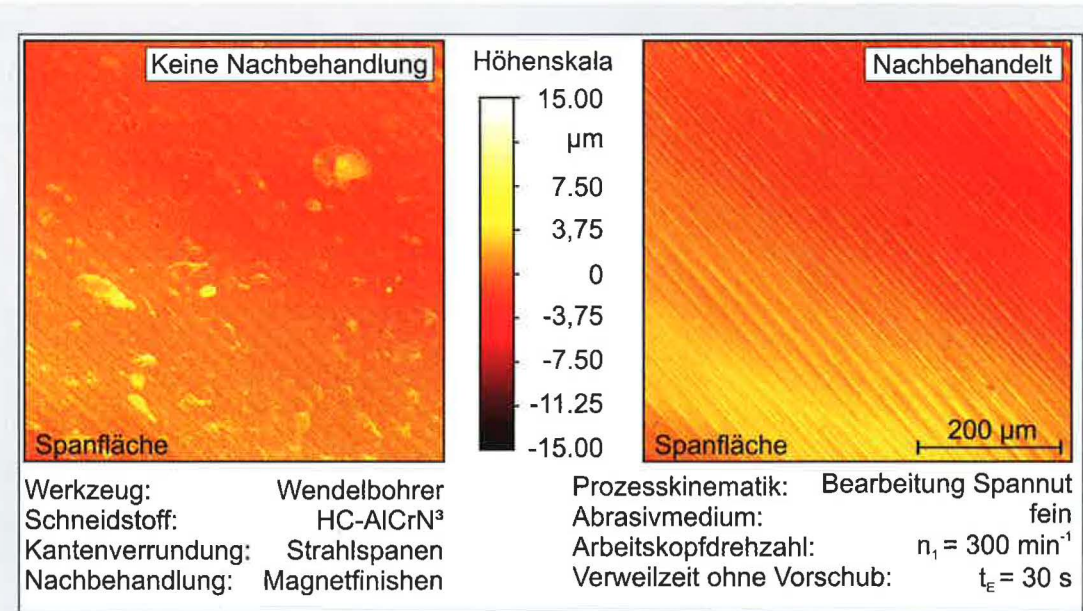


Bild 6
Vergleich der Spanflächentopographie vor und nach der magnet-abrasiven Bearbeitung.

Gezeigt ist das Höhenprofil der Spanfläche vor und nach der magnet-abrasiven Bearbeitung. Relativ zur Umgebung höhere Bereiche sind heller dargestellt, tiefere Bereiche sind dunkler. Auf der Oberfläche ohne Nachbehandlung haben die Droplets eine Höhe von mehreren Mikrometern. Das Profil erscheint sehr unregelmäßig und rau. Die nachbehandelte Spannut wirkt hingegen wesentlich gleichmäßiger. Die wenigen nach der Dropletentfernung zurückgebliebenen Poren haben nur eine sehr geringe Tiefe. Weiterhin können die hinterlassenen Poren bei Zerspanprozessen mit Kühlschmierstoffeinsatz als Schmier-taschen dienen und so zu einer

Reduzierung der Reibung beim Spanabtransport beitragen. Diese sind somit als vorteilhaft einzustufen^[4].

Zusammenfassung

Die dargestellten Ergebnisse zur magnet-abrasiven Bearbeitung zeigen deutlich das Potenzial dieser Bearbeitungsmethode auf. So können die vielfältigen Anforderungen die an die Werkzeugvor- und -nachbehandlung gestellt werden effizient mit nur einem Verfahren und im hier gezeigten Fall innerhalb der Werkzeugschleifmaschine durchgeführt werden. Es wurde gezeigt, dass die Oberflächenqualität der Spannuten vor der Beschichtung,

verglichen mit dem geschliffenen Ausgangszustand, deutlich verbessert werden konnten. Neben der Bearbeitung von Spannuten nach dem Schleifprozess ist die magnet-abrasive Bearbeitung auch zur Nachbehandlung von Beschichtungen geeignet. Die Anwendung empfiehlt sich bei Schichten, die über das ARC-PVD aufgetragen wurden. Die durch den Beschichtungsprozess bedingten Droplets können mittels Magnetfinishen entfernt werden, ohne dabei eine Beschädigung oder großflächigen Abtrag der Beschichtung hervorzurufen. Die optimierte Oberflächentopographie trägt zur Leistungssteigerung des Zerspanwerkzeuges bei.

weitere Infos www.isf.de

Bildnachweis Verfasser

Danksagung: Die Autoren danken den Firmen Alfred H. Schütte, Gühring oHG und Magnetfinish GmbH sowie der CemeCon AG für die großzügige Unterstützung dieser Forschungstätigkeit.

Literaturnachweis: [1] Biermann, D.; Wolf, M.; Heymann, T.: Magnetfinishen zur Präparation von VHM-Werkzeugen – Teil 1 Verfahrenstechnische Grundlagen. dihw DIAMANT HOCHLEISTUNGSWERKZEUGE 2013, S. 24–29 [2] Khairy, A. B.: Aspects of surface and edge finish by magnetoabrasive particles. Journal of Materials Processing Technology, 116 (2001), S. 77–83 [3] Kremen, G.Z.; Elsayed, E.A.; Rafalovich, V.I.: Mechanism of material removal in the magnetic abrasive process and the accuracy of machining. International Journal of Production Research, 34 (1996) 9, S. 2629–2638 [4] Byelyayev, O.: Erhöhung der Leistungsfähigkeit von HSS-Spiralbohrern durch den Einsatz der magnet-abrasiven Bearbeitung. Dissertation, Magdeburg, 2008 [5] Denkena, B.; de Leon, L.; Köhler, J.: In der Verrundung liegt das Leistungspotenzial – Fräsen von Titan mit verrundeten Schneidkanten. WB Werkstatt und Betrieb, 141 (2008) 10, S. 20–23 [6] Uhlmann, E.; Löwenstein, A.; Mahr, F.; Oberschmidt, D.: Schneidkantenpräparation von Mikrofräsern – Vergleich zweier Verfahren hinsichtlich Präparationseffekten und Werkzeugperformance. Wt Werkstatttechnik online, 101 (2011) 1/2, S. 73–80 [7] 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 [8] Terwey, I.: Steigerung der Leistungsfähigkeit von Vollhartmetallwendelbohrern durch Strahlspanen. Dissertation, Technische Universität Dortmund, Vulkan Verlag, Essen 2011 [9] Bouzakis, E.: Steigerung der Leistungsfähigkeit PVD-beschichteter Hartmetallwerkzeuge durch Strahlbehandlung. Dissertation, RWTH Aachen, Apprimus Verlag, Aachen 2008 [10] Zimmer, O.; Siemroth, P.; Berthold, J.; Hilgers, H.; Hentsch, W.: Gefilterte Bogenbeschichtung – altes Problem und neue Lösungen. Vakuum in Forschung und Praxis, 15 (2003) 4, S. 202–208 [11] Sladkov, D.: Leistungsoptimierung von TiAlN-Verschleißschutzschichten für das Außenlängsdrehen mit Hartmetallwendeschneidplatten. Dissertation, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg 2004.