

Magnetfinishen zur Präparation von VHM-Werkzeugen

Verfahrenstechnische Grundlagen

Teil 1

Die magnetabrasive Bearbeitung (Magnetfinishen) ist ein Verfahren, welches auch zur Präparation von Vollhartmetallwerkzeugen angewandt wird. Das Verfahren ist eine Alternative zu den überwiegend eingesetzten Prozessen Strahlspanen, Schleppsleifen und Bürsten. In der durchgeführten Forschungsarbeit wurde die magnetabrasive Bearbeitung für die Präparation von Schaftwerkzeugen vor und nach dem Beschichtungsprozess näher untersucht. Die Ergebnisse werden in zwei Artikeln vorgestellt. Dieser erste Teil erläutert das generelle Funktionsprinzip sowie die Umsetzung des Magnetfinishens auf einer Werkzeugschleifmaschine. Im zweiten Teil werden die aus dem Verfahren resultierenden Optimierungsansätze hinsichtlich der Schichtvor- und Nachbehandlung an Vollhartmetallbohrwerkzeugen aufgezeigt.

Innerhalb der Produktherstellung nehmen die spanenden Fertigungsverfahren eine besondere Rolle ein. Zum einen machen sie einen großen Anteil der notwendigen Bearbeitungsoperationen aus und zum anderen werden sie häufig als Endbearbeitungsverfahren eingesetzt, wodurch sie entscheidend für die Bauteilqualität sind. Das Bohren ist dabei

mit circa 50 % der Fertigungshauptzeiten auf Bearbeitungszentren eines der wichtigsten Verfahren^[1]. Aus diesem Grund sind Potenziale zur Leistungssteigerung und Standzeitverbesserung, verbunden mit einer erhöhten Prozesssicherheit, Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten am Institut für Spanende Fertigung (ISF) an der TU Dortmund. Allgemein wird das Einsatz- und Verschleißverhalten von Zerspanwerkzeugen durch die Eigenschaften des eingesetzten Schneidstoffes, der Werkzeuggestalt, der Werkzeugoberflächentopographie und der Prozessauslegung bestimmt. Dabei beeinflusst die Werkzeuggestalt und hier insbesondere die Werkzeugmikrogestalt der Schneidkante in erheblichem Maße die Spanentstehung und die Verschleißbeständigkeit. Durch geeignete Verfahren wie Stahlspanen, Schleppsleifen, Bürsten oder Magnetfinishen soll die Kantenschartigkeit nach den Schleifprozessen verringert und eine definierte, dem Zerspanprozess angepasste Mikrogestalt entlang der Schneidkante eingestellt werden. Zusätzlich zur Präparation der Schneidkante lassen sich durch eine Anpassung der Oberflächentopographie der meist wendelförmig verlaufenden Spannuten erhebliche Verbesserungspoten-

ziale erschließen. So kann die bei der Spanentstehung entstehende Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück aber auch beim späteren Spanabtransport durch die Spannuten, durch eine glattere Oberfläche, deutlich reduziert werden.

Funktionsprinzip

Ungebundene ferromagnetische Abrasivkörner, die sich pulverförmig im Arbeitsspalt zwischen den Polschuhen der Magnete der Anlage befinden, formen ein elastisches magnetabrasives Werkzeug, welches durch Rotation der Magneten in Bewegung versetzt und so als Schleifmittel benutzt wird. Die magnetischen Bestandteile des zur Anwendung kommenden Mediums gewährleisten hierbei den Zusammenhalt des Werkzeugs, während die abrasiven Anteile für den Materialabtrag am Werkstück sorgen. Durch die magnetische Bindung passt sich das pulverförmige Abrasivmedium dynamisch an die zu bearbeitende Werkstückgestalt an. So lassen sich neben Zerspanwerkzeugen vielfältige Werkstückgestalten mithilfe dieses Verfahrens bearbeiten. Die eigentliche, den Materialabtrag hervorrufoende Bewegung resultiert dabei aus der Relativbewegung zwischen Werkstück und den Abrasivkörnern. Wäh-

rend der Bearbeitung prallen die Abrasivkörner auf die zu glättende Oberfläche und gleiten über diese ab. Dabei rufen sie Mikrozerspanprozesse und mikroplastische Verformungen in der Werkstückrandzone hervor^[2-8].

Die Elastizität und das Fließverhalten des magnetabrasiven Pulvers und die daraus resultierende Fähigkeit, sich an das zu bearbeitende Werkstück anpassen zu können, hängen in erheblichem Maße vom Magnetfeld ab^[2,9]. Darüber hinaus bestimmt das Verhältnis von ferromagnetischen und abrasiven Bestandteilen des Pulvers den entstehenden Bearbeitungsdruck und somit das Prozessergebnis^[10]. In Bild 1 ist links das in der Forschungsarbeit eingesetzte Funktionsprinzip aufgezeigt. Hier wird das Abrasivpulver zwischen zwei rotierenden Magnetköpfen gehalten und das zu bearbeitende Werkstück wird in den Arbeitsspalt zwischen Arbeits- und Sekundärkopf geführt. Unter Rotation, sowohl des Werkstückes als auch des Magnetkopfes, kommt es zu den beschriebenen Abtragsmechanismen an der Werkstückoberfläche.

Diese sind im Detail im rechten Teil von Bild 1 dargestellt. Das Auftreten von Mikrozerspannung und mikroplastischen Verformungsvorgängen ist abhängig von der Oberflächenrauigkeit des zu bearbeitenden Werkstückes, der verwendeten Korngröße des Abrasivmediums sowie dem Verschleißzustand und der Orientierung der Körner. Sowohl die Beschaffenheit als auch die Größe der Abrasivkörner bestimmen den Materialabtrag. So dringen diese entweder in Rauigkeitstäler ein und erzeugen einen Span oder die Körner treffen während der Bearbeitung nahezu senkrecht auf Rauigkeitsspitzen und rufen so eine plastische Deformation hervor. Zusätzlich hat der Abnutzungsgrad der Abrasivkörner entscheidenden Einfluss auf die Wechselwirkungen zwischen Werkzeug und Werk-

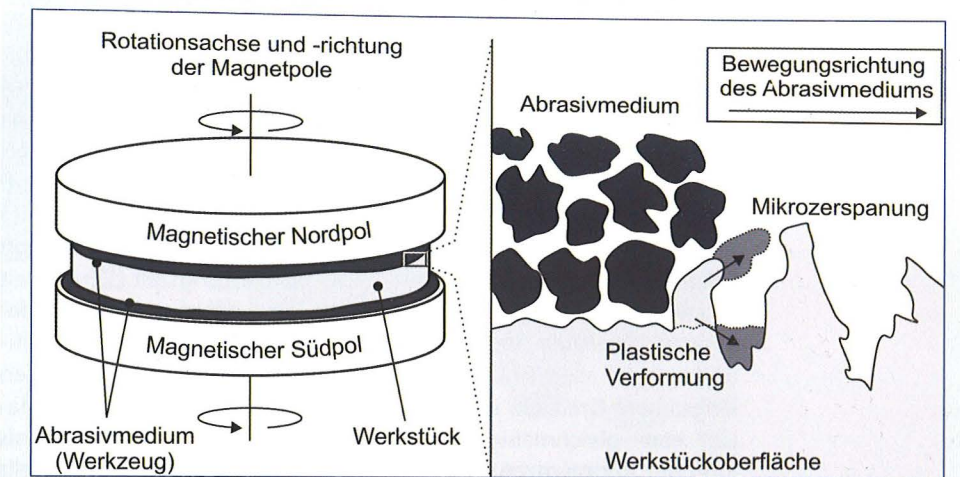


Bild 1
Funktionsprinzip und Abtragsmechanismus.

stück. Ein unverschlissenes Abrasivkorn gleitet oder reibt entlang der Werkstückoberfläche. Dabei findet das sogenannte Mikropflügen statt. Steigt der Bearbeitungsdruck weiter an, erfolgt die Spanabnahme. Hingegen gleitet ein verschlissenes Abrasivkorn solange über die Werkstückoberfläche, bis ein Teil des Kornes ausbricht und eine neue Schneidkante entsteht. Diese neue Schneidkante bewirkt dann ebenfalls eine Spanabnahme^[11,12].

Verfahrenstechnische Besonderheiten

Die Versuche zum Magnetfinishen von Vollhartmetallbohrwerkzeugen sind am ISF auf einer Werkzeugschleifmaschine der Firma Alfred H. Schütte vom Typ 305micro durchgeführt worden. Das Maschinenkonzept bietet die Möglichkeit, anstelle einer Schleifscheibe, über die HSK 50

Aufnahme der Schleifspindel einen Magnetfinishkopf der Firma Magnetfinish GmbH zu installieren. Hierdurch erweitern sich die Einsatzmöglichkeiten der Werkzeugschleifmaschine in erheblichem Umfang. Im Anschluss an den Schleifprozess sind dadurch sowohl eine Substratvorbehandlung in Form einer Schneidkantenpräparation und Spannuttglättung in derselben Aufspannung als auch eine Präparation nach der Beschichtung durchführbar. In Bild 2 ist der Versuchsaufbau auf der Werkzeugschleifmaschine mit installiertem Magnetfinishkopf dargestellt. Durch die Integration der magnetabrasiven Bearbeitung in die Maschinensteuerung kann der Prozess sehr einfach den jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden.

Im rechten Teil von Bild 2 ist der eigentliche Präparationsprozess gezeigt. Zu erkennen ist neben dem, mittels Präzisionsspan-

Bild 2
Umsetzung des Verfahrens innerhalb der Werkzeugschleifmaschine Schütte 305micro.



zange eingespannten Werkstück (VHM-Wendelbohrer), welches sich hier im Arbeitsspalt zwischen Arbeits- und Sekundärkopf befindet, auch die Kühlschmierstoffversorgung über Kupferrohre. Innerhalb der Magnetfinish-Anlage gibt der Arbeitskopf die Drehzahl vor. Der Sekundärkopf ist mit dem Arbeitskopf über ein Getriebe gekoppelt, welches den Sekundärkopf auf eine entsprechend langsamere Drehzahl untersetzt, um eine gleichmäßige Verteilung des Abrasivmediums im Arbeitsspalt zu gewährleisten. Das Verfahren erlaubt die Anpassung des gewünschten Ergebnisses mittels einer Vielzahl an Prozessparametern (Bild 3). So kann zum einen über die Drehrichtung des Arbeitskopfes in Relation zum Werkstück beeinflusst werden, ob das Abrasivmedium vom Schaft zur Werkzeugspitze fließt. Dies hat in erster Linie eine

Glättung der Spannut zur Folge. Daneben ist es möglich, das Abrasivmedium von der Werkzeugspitze in Richtung Nutauslauf fließen zu lassen. Dies bewirkt aufgrund der kinematischen Verhältnisse vorrangig eine Präparation der Schneidkante. Darüber hinaus kann durch eine Variation der Bearbeitungszeit (Verweilzeit des Werkstückes innerhalb der Magnetköpfe) sowie der Positionierung des zu bearbeitenden Werkstückes innerhalb der Magnetköpfe das Prozessergebnis beeinflusst werden. Ebenso stellt das zur Anwendung kommende Abrasivpulver eine weitere wesentliche Einflussgröße dar. Einfluss auf das Bearbeitungsergebnis haben vor allem eine Variation der Abrasivkorngröße und des Kornwerkstoffes.

Die variablen Faktoren Bearbeitungsdruck, Materialfluss des Abrasivpulvers in Bezug zum

Werkstück und zur Bearbeitungszeit haben den größten Einfluss auf das Bearbeitungsergebnis bezüglich der Oberflächentopographie der Spannut und der mikroskopischen Gestalt der Schneidkante. Der Bearbeitungsdruck entsteht durch das Aufstauen des Abrasivpulvers vor einem Hindernis, d.h. in diesem Fall vor der Werkstückoberfläche des Wendelbohrers. Die Analyse des Bearbeitungsdruckes sowie des Materialflusses des Abrasivmediums ist aufgrund der komplexen Gestalt eines Wendelbohrers in Kombination mit der Rotationsbewegung des Magnetkopfespaars und der Rotations- bzw. Translationsbewegung des Werkstückes während des Prozesses sehr schwierig, da der Bearbeitungsdruck sowie der Materialfluss örtlich und zeitlich veränderlich sind. Zusätzlich wird die Analyse aufgrund der unterschiedlichen Rotations-

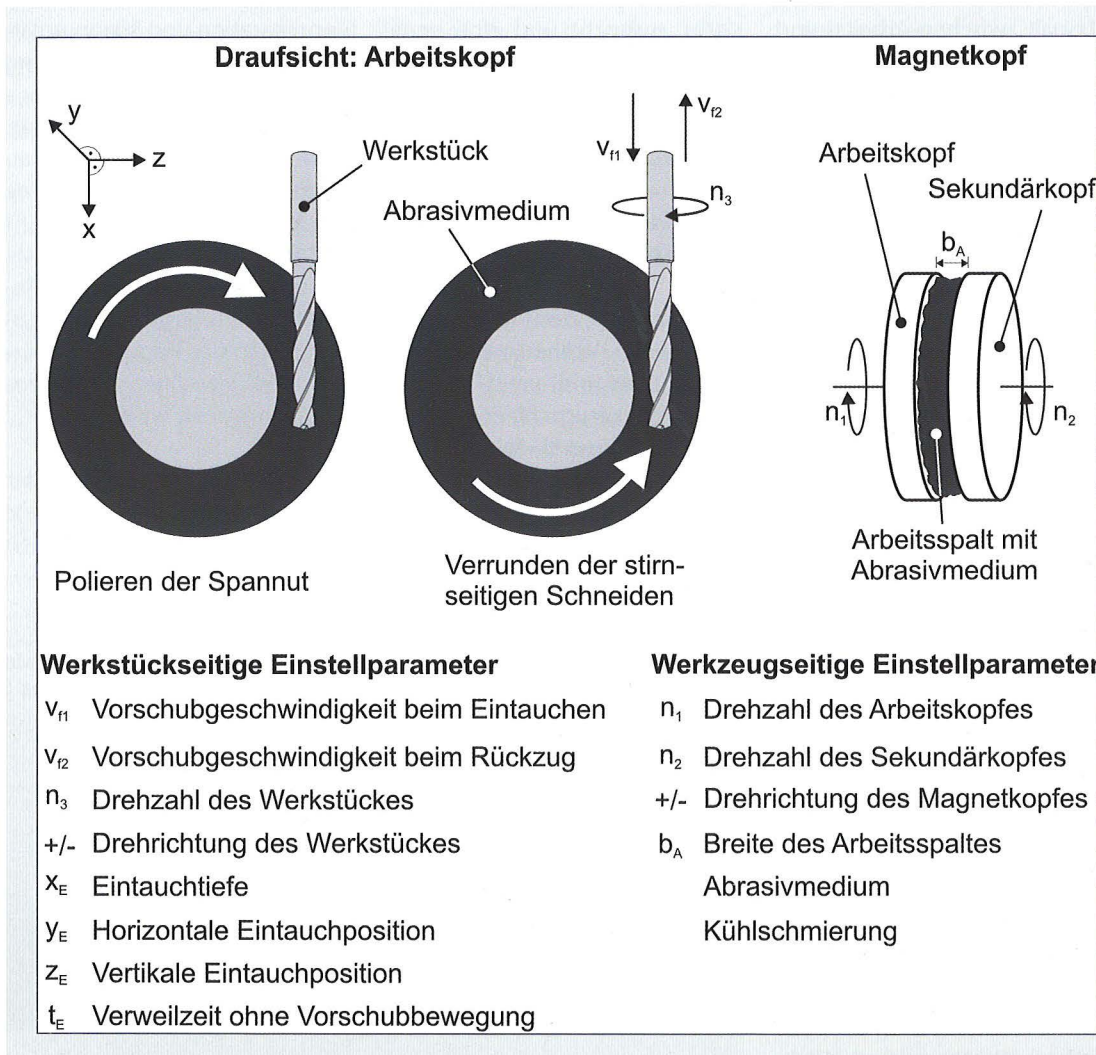


Bild 3
Einstellparameter bei der magnet-abrasiven Bearbeitung.

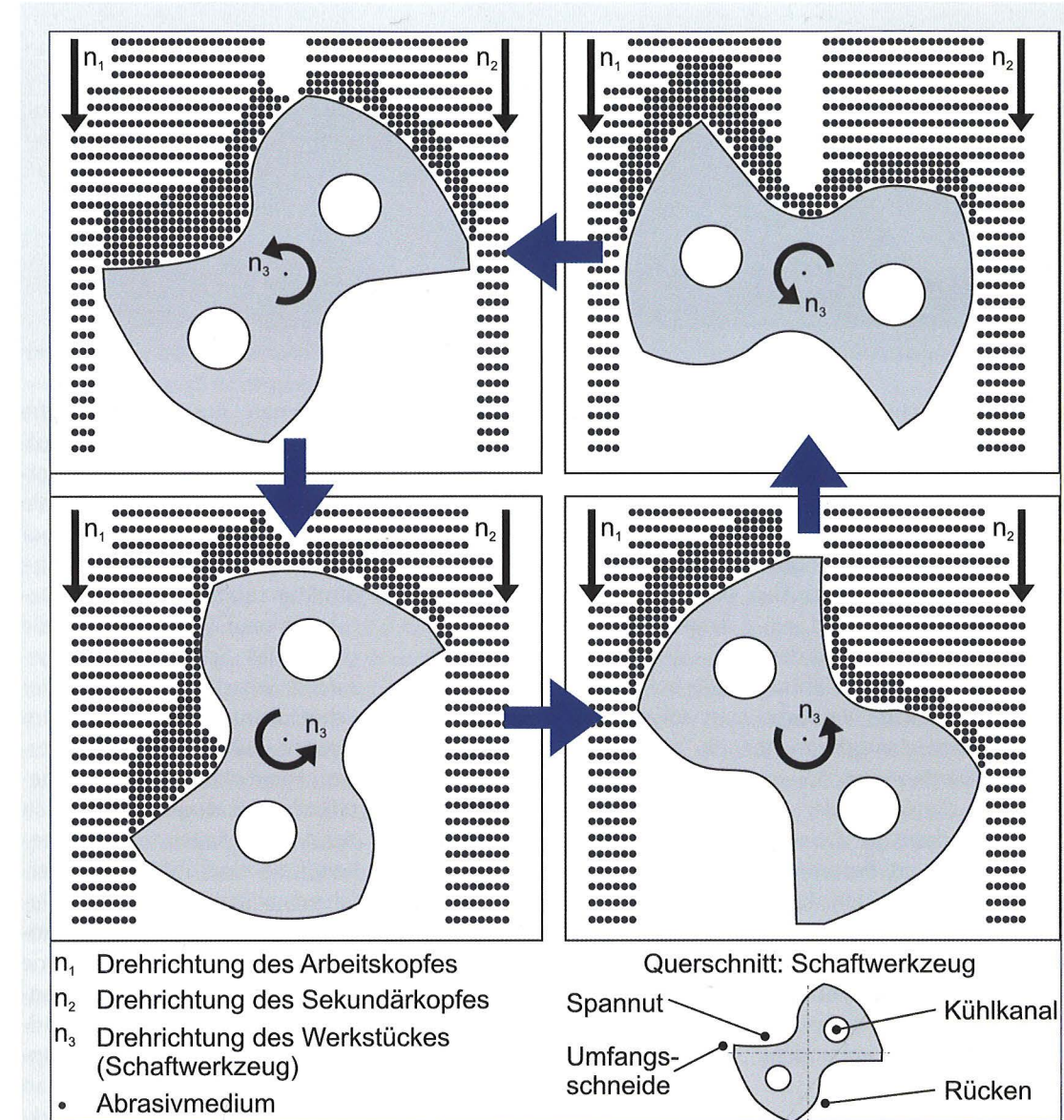


Bild 4
Materialfluss des Abrasivmediums während der Bearbeitung.

geschwindigkeiten des Arbeits- und Sekundärkopfes erschwert. Zur Verdeutlichung der komplexen Rahmenbedingungen ist in Bild 4 der Materialfluss des Abrasivmediums im Bereich der Nebenschneide und Spannut während der Bearbeitung eines Werkstückes in verschiedenen Rotationspositionen dargestellt. Die Kinematik des Prozesses ist für das Beispiel so ausgelegt, dass primär eine Bearbeitung der Spannut erfolgen soll.

Es ist der Querschnitt eines rechtsschneidenden Wendelbohrers zu erkennen. Die Winkelposition des Wendelbohrers beeinflusst den Konturabschnitt, der zu dem betrachteten Zeitpunkt bearbeitet wird. In Abhängigkeit

der Kontur ergibt sich das Aufstauvermögen sowie die Bearbeitungs- und Abgleitrichtung des Abrasivpulvers. Das Aufstauvermögen des Abrasivpulvers vor einem Konturabschnitt und somit der Bearbeitungsdruck sind höher, wenn die Werkstückoberfläche orthogonal zur Bearbeitungsrichtung steht. In diesem Fall kann das Abrasivpulver nicht an der Oberfläche ab- oder vorbeigleiten. So ist beispielsweise das Aufstauvermögen an der Nebenflechte geringer als auf der Spanfläche, da das Abrasivpulver entlang der Außenkontur besser abgleiten kann. Der Bearbeitungsdruck wird zusätzlich durch die Rotationsgeschwindigkeiten der Magnetköpfe, hier im Wesentlichen der Arbeits-

kopf, und des Werkstückes beeinflusst. Grund dafür ist, dass der resultierende Druck von der Relativgeschwindigkeit zwischen Werkzeug und Werkstück und dem Kontaktzeitintervall, in dem ein Konturabschnitt in Kontakt zum Abrasivmedium steht, abhängig ist. Resultierend führt ein höherer Bearbeitungsdruck bzw. eine erhöhte Reibwechselwirkung zu einem größeren Materialabtrag und somit zu einer stärkeren Glättung der Werkstückoberfläche. Bei den dargestellten Auswirkungen auf die Oberflächentopographie ist zu beachten, dass mit zunehmender Profiltiefe mehr Material abgetragen und somit mehr Energie zur Verfügung gestellt werden muss, um eine signifikante Verbesse-

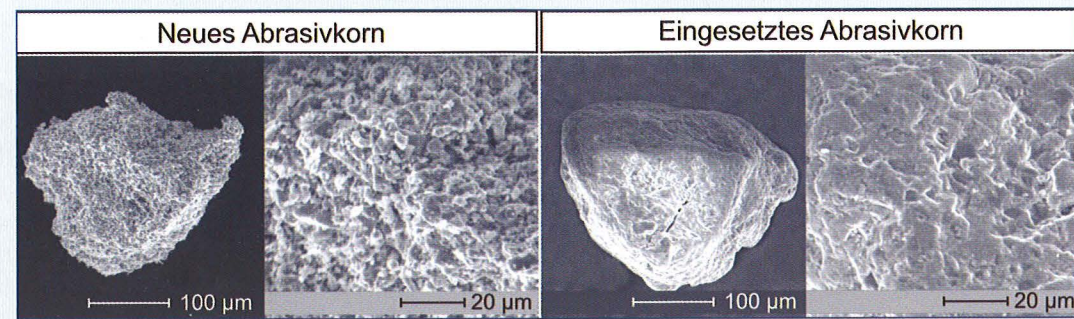


Bild 5
Verschleißzustand
des Abrasivmedi-
ums vor und nach
dem Einsatz.

rung der Oberflächengüte zu erreichen. Weil einerseits die Prozessparameter nicht unbegrenzt gesteigert werden können und andererseits die maximale Verbesserung der Oberflächengüte durch die Eigenschaften der Abrasivpartikel bestimmt wird, existiert ein Grenzwert, bei dem kein deutlicher Materialabtrag bzw. keine deutliche Verbesserung der Oberflächengüte mehr festgestellt werden kann. So verhindert z.B. die Größe der Abrasivpartikel, dass die Oberflächengüte über ein bestimmtes Maß gesteigert werden kann. Abrasivpartikel hinterlassen zum einen beim Materialabtrag selbst Riefen in der Werkstückoberfläche und zum anderen können diese nicht mehr in vorhandene kleinere Riefen eindringen.

Bild 6
Ausblick auf erziel-
bare Prozessergeb-
nisse an einem Voll-
hartmetallbohr-
werkzeug.

Der Einfluss des Verschleißzustandes der Abrasivkörner wurde bereits grundsätzlich erläutert. In Bild 5 ist ein unverschlissenes, neues Abrasivkorn im Vergleich zu einem bereits eingesetzten Abrasivkorn dargestellt.

Es ist ersichtlich, dass es mit zunehmender Einsatzdauer zu einer Glättung der Kornoberfläche kommt. Infolgedessen sinkt auch die Leistungsfähigkeit des Abrasivkorns hinsichtlich einem vorzunehmenden Materialabtrag stark.

Die zu beobachtende Glättung ist sowohl auf makroskopischer als auch auf mikroskopischer Ebene zu erkennen. Kommt es auf der Makroebene zu einer deutlichen Abrundung der Kornkontur, so ist auf der Mikroebene eine Glättung der Kornoberfläche die Folge. Dies hat entscheidenden Einfluss auf das resultierende Prozessergebnis.

Neben den zuvor erläuterten Ergebnissen zur allgemeinen Vorstellung und Beschreibung des Magnetfinishen-Prozesses, soll mithilfe von Bild 6 ein Ausblick auf die Möglichkeiten des Verfahrens zur Bearbeitung von Vollhartmetallbohrwerkzeugen gegeben werden. Das Potenzial, die Spannut im Vergleich zur ge-

schliffenen Ausgangsoberfläche deutlich zu verbessern, ist offensichtlich. Durch die magnetabrasive Bearbeitung kann die Oberflächentopographie geglättet und eine unregelmäßige Struktur erzeugt werden. Darüber hinaus verringert sich die durch das Schleifen hervorgerufene Schartigkeit entlang der Schneidkante signifikant. Im zweiten Teil dieses Artikels werden konventionelle Vollhartmetallbohrwerkzeuge hinsichtlich der Möglichkeiten zur Nachbehandlung einer mittels PVD-Verfahren aufgetragenen Titanaluminiumnitrid-Beschichtung untersucht. Zudem erfolgt eine Analyse des Optimierungsansatzes der Schichtvorbehandlung (Spannutglättung) am Institut für Spanende Fertigung an eigens geschliffenen Bohrwerkzeugen.

Zusammenfassung

Das Magnetfinishen stellt eine leistungsfähige Alternative zu den bereits etablierten Verfah-

ren der Werkzeugpräparation bei Schaftwerkzeugen dar. So kann auf Basis einer Anpassung der Prozessparameter das gewünschte Ergebnis hinsichtlich Schneidkantenmikrogestalt

und Oberflächentopographie der Spannut eingestellt werden. Im ersten Teil des Artikels wurden das Verfahren und dessen Einsatz auf einer konventionellen Werkzeugschleifmaschine be-

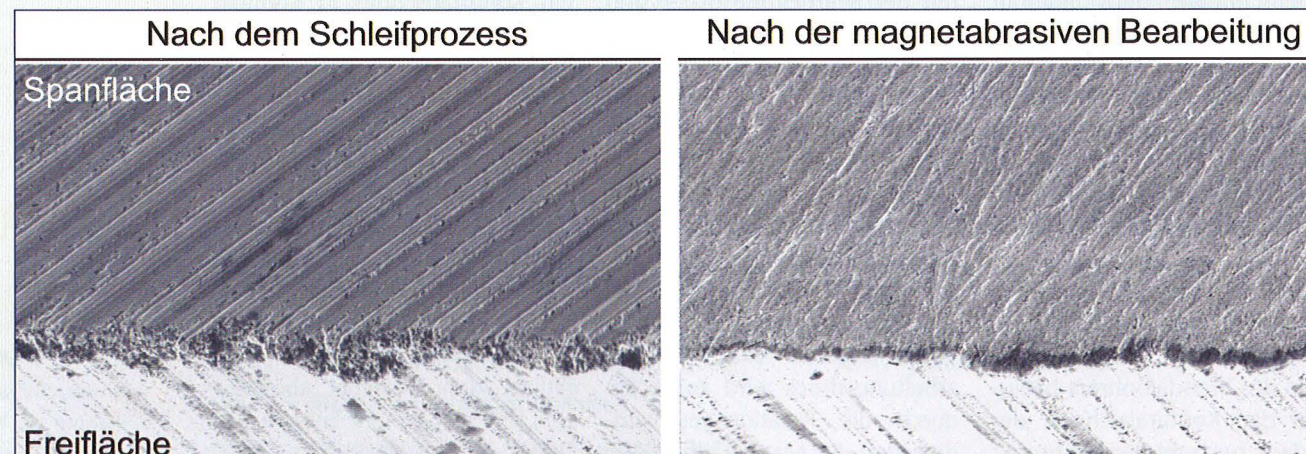
schrieben. Im zweiten Teil dieser Veröffentlichung werden die erzielbaren Ergebnisse hinsichtlich einer Schichtvor- und Nachbehandlung an Vollhartmetallbohrwerkzeugen vorgestellt.

weitere Infos www.isf.de

Bildnachweis Verfasser

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

Literaturnachweis: [1] Bruchhaus, T.: Innovative Werkzeuge für die Bohrungsbearbeitung – ein Schlüssel zur produktiven Fertigung. In: Weinert, K.; Biermann, D. (Hrsg.): Spanende Fertigung – Prozesse, Innovationen, Werkstoffe. 5. Ausgabe. Vulkan Verlag, Essen 2008, S. 188–195 [2] Byelyayev, O.: Erhöhung der Leistungsfähigkeit von HSS-Spiralbohrern durch Einsatz der magnetabrasiven Bearbeitung. Dissertation Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg 2008 [3] Byelyayev, O.: Anwendungsorientierte Schneidkantenpräparation – Einsatz der magnetabrasiven Bearbeitung (MAB) im Ringbad. Forum Schneidwerkzeug und Schleiftechnik. 24 (2011) 1, S. 48–54 [4] Jayswal, S. C.; Jain, V. K.; Dixit, P. M.: Modeling and simulation of magnetic abrasive finishing process. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 26 (2005) 5/6, S. 477–490 [5] Uhlmann, E.; Löwenstein, A.; Mahr, F.; Oberschmidt, D.: Schneidkantenpräparation von Mikrofräsern – Vergleich zweier Verfahren hinsichtlich Präparationseffekten und Werkzeugperformance. wt Werkstattstechnik online, 101 (2011) 1/2, S. 73–80 [6] Wantusch, E. T.; Lutze, H. G.: Magnetabrasive Bearbeitung – Ausgewählte Probleme der Konstituierung physischer Eigenschaften von Oberflächenschichten bei Stahlwerkstücken. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 97 (2002) 5, S. 232–237 [7] Warnecke, H. J.; Ruben, H. J.; Przyklenk, K.: Magnetabrasives Feinschleifen – Ein Verfahren zum Feinschleifen von Bauteilen. wt Werkstattstechnik – Zeitschrift für industrielle Fertigung, 76 (1986) 11, S. 677–681 [8] Ruben, H. J.: Magnetabrasives Feinbearbeiten. Industrie-Anzeiger, 111 (1989) 13, S. 40–41 [9] Karpuschewski, B.; Byelyayev, O.; Maiboroda, V. S.: Magneto-abrasive machining for the mechanical preparation of high-speed steel twist drills. CIRP Annals – Manufacturing Technology, 58 (2009) 1, S. 295–298 [10] Khairy, A. B. E.; El-Khazendar, M. A.: Some Aspects of magnetabrasive finishing process. In: Kochhar, A. K. (Hrsg.): Proceedings of the 31st International Matador Conference, Manchester 1995, S. 427–433 [11] Khairy, A. B. E.: Aspects of surface and edge finish by magnetoabrasive particles. Journal of Materials Processing Technology, 116 (2001) 1–3, S. 77–83 [12] 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.



Start to be a **WIN**ner

WIN. Your international magazine for the woodworking industry.

-  Furniture Production
-  Board Materials
-  Sawmill Technology

For a free magazine just send us an e-mail, fax, or visit our website.



 **Dr. Harnisch**
International Publications

Tel: +49-911-2018-0 ■ Fax: +49-911-2018-100 ■ win@harnisch.com ■ www.harnisch.com/win