

POLIERSCHLEIFEN

Herausforderungen beim Abrichten elastisch gebundener Diamantschleifwerkzeuge für die Feinbearbeitung von Hartmetall.

Einleitung und Motivation

Die Werkzeugpräparation ist ein maßgeblicher Bestandteil des Herstellungsprozesses von Zerspanungswerkzeugen, dem insbesondere vor dem Ziel der Leistungssteigerung der Werkzeuge eine hohe Bedeutung zukommt. Die dem Werkzeugschleifprozess nachgelagerte Präparation ist diesbezüglich sowohl vor als auch nach dem Beschichtungsprozess des Zerspanungswerkzeuges durchführbar [1, 2]. Hinsichtlich der Werkzeugpräparation sind sowohl die Schneidkanten, aber auch die Funktionsflächen, wie beispielsweise die Spannuten, von Bedeutung [3, 4, 5]. Die Ziele der Erzeugung feinsten Oberflächen der Spannuten bei Schaftwerkzeugen liegen dabei vor allem in der Reibungsminderung und folglich der Verbesserung der Spanabfuhr, was eine Steigerung der Lebensdauer der Werkzeuge nach sich zieht [1]. Verfahren, die für diesen Fertigungsschritt der Werk-

zeugpräparation in der Herstellung von Zerspanungswerkzeugen angewandt werden, sind zum einen solche mit ungebundenem Abrasiv, wie beispielsweise das Strahlspanen. Darüber hinaus können auch Verfahren eingesetzt werden, die auf dem Konzept gebundener Abrasivkörner basieren. Zu diesen zählt unter anderem das Polierschleifen unter Einsatz elastisch gebundener Schleifwerkzeuge.

Um Zerspanungswerkzeuge optimal auf den späteren Einsatz vorzubereiten, ist eine gleichmäßige Präparation von hoher Relevanz. Vor dem Hintergrund geforderter, hoher Prozessstabilitäten ist vor allem auch die Reproduzierbarkeit des Präparationsprozesses von zentraler Bedeutung. Durch den Einsatz von Feinbearbeitungswerkzeugen auf Basis eines gebundenen Schleifkorns sind die Voraussetzungen bestens gegeben. Durch die Ausführung des Werk-

zeuges als Schleifkörper ist für die Präparation des Zerspanungswerkzeuges keine zusätzliche Maschineninvestition notwendig. Darüber hinaus ermöglicht das gebundene Werkzeug eine gezielte Präparation und eine Prozessführung analog zum vorausgehenden Werkzeugschleifprozess. Ferner zeichnen sich elastisch gebundene Schleifwerkzeuge durch eine Nachgiebigkeit der Bindung aus, was insbesondere das Verformungsverhalten im spezifischen Einsatz in den Fokus rückt [4, 6, 7]. Untersuchungen von Heymann zeigen, dass das Polierschleifen ein geeignetes und vielversprechendes Verfahren zur Präparation von Wendelbohrwerkzeugen darstellt [4]. Um den Prozess der Präparation von Spannuten weiterzuentwickeln, thematisiert das Projekt „Polierschleifen von Hartmetall mit elastisch gebundenen Schleifscheiben am Beispiel von Spannuten“ (IGF Vorhaben 19155 N) drei wesentliche Bausteine zur gezielten

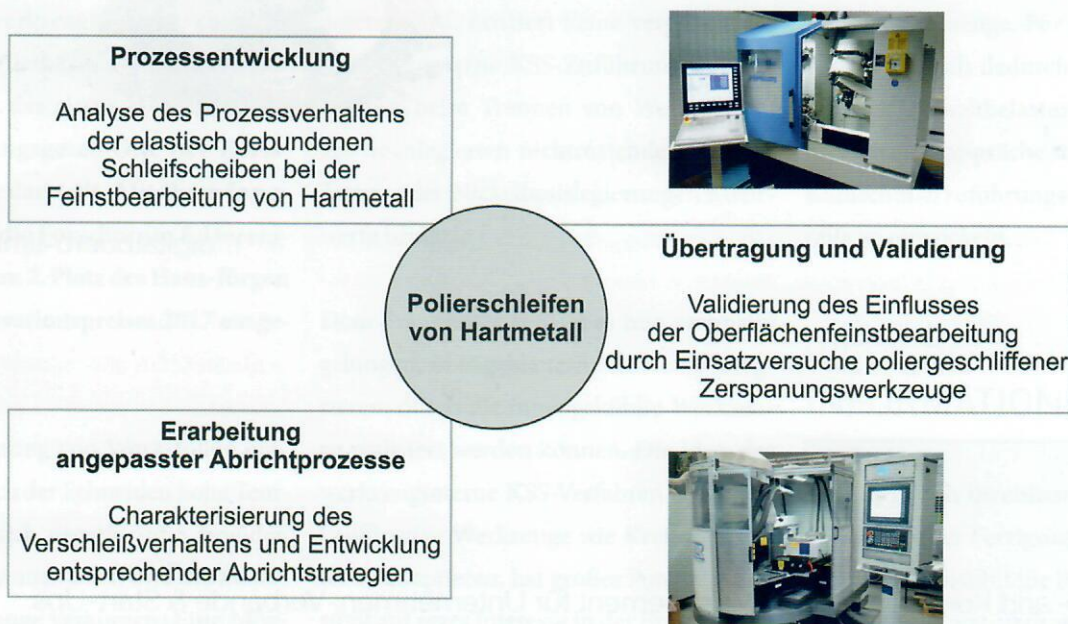


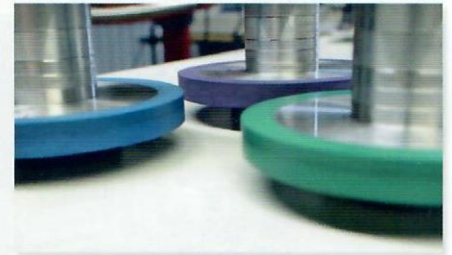
Abb. 1: Aufbau des Projektes „Polierschleifen von Hartmetall“

und reproduzierbaren Werkzeugpräparation durch Polierschleifen (vgl. Abbildung 1).

Zum einen wird die weitere Prozessentwicklung zum Polierschleifen von Hartmetall u.a. durch die Analyse des spezifischen Prozessverhaltens elastisch gebundener Werkzeuge bei der Feinbearbeitung von Hartmetall betrachtet. Im Fokus stehen hier unter anderem die Einflüsse der Prozessparameter auf die erzielte Oberflächengüte sowie das Verformungsverhalten der nachgiebigen Schleifwerkzeuge für den spezifischen Anwendungsfall. Als zweiter zentraler Aspekt wird die Einsatzvorbereitung der nachgiebigen Diamantwerkzeuge berücksichtigt. Das Verformungsverhalten der elastischen Bindung ist nicht nur im eigentlichen Werkzeugpräparationsprozess von Bedeutung, sondern stellt bereits im Rahmen der Einsatzvorbereitung einen wesentlichen Einflussfaktor dar, der sich auf die Gestalt des Schleifwerkzeuges und somit folglich ebenfalls auf den anschließenden Präparationsprozess auswirken kann. Daher ist es das Ziel des genannten Forschungsvorhabens, angepasste Abrichtprozesse unter Berücksichtigung der spezifischen Schleifwerkzeugeigenschaften zu erarbeiten. Umfassende Kenntnisse dieser beiden Bausteine bilden die Grundlage für einen reproduzierbaren und gleichmäßigen Polierschleifprozess bei der Feinbearbeitung von Hartmetallen. Unter dem dritten Aspekt der Übertragung der Prozesse auf komplexe Werkzeuge soll das Einsatzverhalten poliergeschliffener Werkzeuge validiert werden. Die im Rahmen dieser Veröffentlichung vorgestellten Ergebnisse thematisieren dabei die Einsatzvorbereitung, insbesondere den Einfluss ausgewählter Abrichtprozessparameter auf die Eigenschaften der Polierschleifwerkzeuge.

Spezifikation der elastisch gebundenen Diamantschleifscheiben

Form:	1A1
Abrasiv:	synthetischer Diamant
Korngröße:	$d_k = 10 \dots 15 \mu\text{m}$
Bindung:	Gummibindung
Bindungshärte:	variiert



Variation der Bindungshärte



Abb. 2: Spezifikation der eingesetzten nachgiebigen Diamantschleifscheiben

Eingesetzte, elastisch gebundene Diamantschleifscheiben

Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen zum Polierschleifen von Hartmetall, bzw. der entsprechenden Analysen zum Abrichten, wurden elastisch gebundene Schleifscheiben mit variierenden Bindungseigenschaften eingesetzt. Die Diamantschleifscheiben mit einem Nenn Durchmesser von $d = 100 \text{ mm}$ und einer Nennbreite von $b = 10 \text{ mm}$ haben eine Korngröße von $d_K = 10\text{--}15 \mu\text{m}$ und weisen ein gerades Flankenprofil (Form 1A1) auf. Unterschiede liegen hinsichtlich der Bindungshärte vor. Dabei wurden Schleifscheiben mit drei variierenden Bindungshärten eingesetzt, die gemäß der Herstellerangaben qualitativ gegliedert und als „hart“, „mittel“ sowie „weich“ bezeichnet sind (vgl. Abbildung 2).

Abrichten nachgiebiger Diamantschleifscheiben – Spezifischer Einfluss der Abrichtprozessparameter auf das Flankenprofil

Die experimentellen Untersuchungen zum Abrichten wurden auf einer zur Werkzeugschleifmaschine separaten Abrichtmaschi-

ne, der AP-800 Fusion der Fa. Rudolf Geiger Maschinenbau GmbH, durchgeführt (vgl. Abbildung 3). Diese ermöglicht neben dem Abrichten ohne Einsatz von Kühlschmierstoff ebenfalls die Überflutungsschmierung. Die Diamantschleifscheiben mit elastischer Bindung werden mit Abrichtscheiben auf Basis von Siliziumkarbid als Kornwerkstoff abgerichtet. Die verwendeten Abrichtwerkzeuge weisen eine Körnung der Klassifizierung F240 auf.

Die elastisch gebundenen Schleifscheiben wurden mit der Zielgröße einer geraden Profilform abgerichtet. Im Rahmen dieser experimentellen Versuchsreihe wurden die Abrichtprozessparameter variiert, unter anderem das Geschwindigkeitsverhältnis q_d . Dabei wurde die Drehzahl der Diamantschleifscheibe mit $n_s = 500 \text{ min}^{-1}$ konstant gewählt. Die Variation von Gleich- und Gegenlauf wurde über die Änderung der Rotationsrichtung der Diamantschleifwerkzeuge realisiert, wohingegen eine Veränderung des Betrages des Geschwindigkeitsverhältnisses über eine Drehzahlvariation

Abrichtuntersuchungen - Experimentelle Randbedingungen



Abrichtprozess

Maschine:	Geiger AP-800 Fusion	Überdeckungsgrad U_d :	14
		Geschwindigkeitsverh. q_d :	+/- 0,8; -6
Werkzeug:	Siliziumkarbid F240	Abrichtzustellung a_{ed} :	2 μm
		Gesamtabrichtzustellung $a_{ed, ges}$:	50 μm

KSS-Strategie: trocken, Emulsion

Abb. 3: Eingesetzte Abrichtmaschine und Prozessparameter des Abrichtprozesses

des Abrichtwerkzeuges umgesetzt wurde. Im Fokus dieser experimentellen Untersuchungen liegt u. a. das erzielte Flankenprofil der elastisch gebundenen Diamantwerkzeuge. Um dieses zu bestimmen, wurden Bereiche der Diamantschleifscheiben im Anschluss an den Abrichtprozess auf Basis eines optischen Messprinzips digitalisiert. Die Schleifscheiben wurden über die gesamte Breite des Schleifbelages betrachtet und auf Basis eines Bereiches der Größe von $0,7 \times 10 \text{ mm}^2$ wurde das gemittelte Flankenprofil ermittelt (vgl. Abbildung 4).

Die ermittelten Flankenprofile in Abhängigkeit der Variation des Geschwindigkeitsverhältnisses q_d sind in Abbildung 5

dargestellt. Dabei sind Profile verschiedener Umfangsbereiche der Schleifscheibe sowie ebenfalls unterschiedlicher Abrichtversuche gegenübergestellt und farblich voneinander abweichend gekennzeichnet.

Als Abrichtgeschwindigkeitsverhältnisse wurden zunächst $q_d = \pm 0,8$ zum Vergleich von Gleich- und Gegenlauf sowie ein deutlich höheres Geschwindigkeitsverhältnis von $q_d = -6$ realisiert. Die Abrichtprozesse zur Analyse des Einflusses des Geschwindigkeitsverhältnisses wurden ohne den Einsatz von Kühlschmierstoff, bei konstanter Abrichtzustellung von $a_{ed} = 2 \mu\text{m}$ sowie konstantem Überdeckungsgrad von $U_d = 14$ durchgeführt. Als Gesamtabricht-

zustellung wurde $a_{ed, ges} = 50 \mu\text{m}$ gewählt. Die dargestellten gemittelten Profile der Diamantschleifscheiben zeigen, dass unabhängig der Bindungshärte sowie des Geschwindigkeitsverhältnisses leicht gewölbte Flankenprofile entstehen. Die Abweichung vom geraden Flankenprofil beträgt für die geringen Geschwindigkeitsverhältnisse von $q_d = \pm 0,8$ jedoch nur wenige Mikrometer über die gesamte Profilbreite von $b = 10 \text{ mm}$. Die Profilabweichung bei entsprechend größerem Geschwindigkeitsquotienten von $q_d = -6$ ist hingegen deutlich markanter ausgeprägt, was sich ebenfalls unabhängig der Bindungshärte ergibt. Zurückzuführen ist dies wahrscheinlich auf thermische Einflüsse, bedingt durch eine höhere Wärmeentwicklung aufgrund größerer Umfangsgeschwindigkeiten des Siliziumkarbid-Abrichtwerkzeuges. Bei höherer Wärmeinbringung kommt es zu einer stärkeren Ausdehnung der elastisch gebundenen Diamantschleifscheiben, was den Materialabtrag im Abrichtprozess beeinflusst und nachträglich ein gewölbtes Schleifscheibenprofil hervorruft. Eine verhältnismäßig große Profilabweichung wäre im späteren Einsatz der elastisch gebundenen Diamantschleifscheiben vor allem bei der Wahl kleiner Zustellungen von Relevanz. Hinzu kommt die prozessbedingte Verformung der Schleifscheiben im Einsatz, die ebenfalls Berücksichtigung finden muss. Die Ergebnisse in Abbildung 5 verdeutlichen zudem eine gute Reproduzierbarkeit des Abricht-

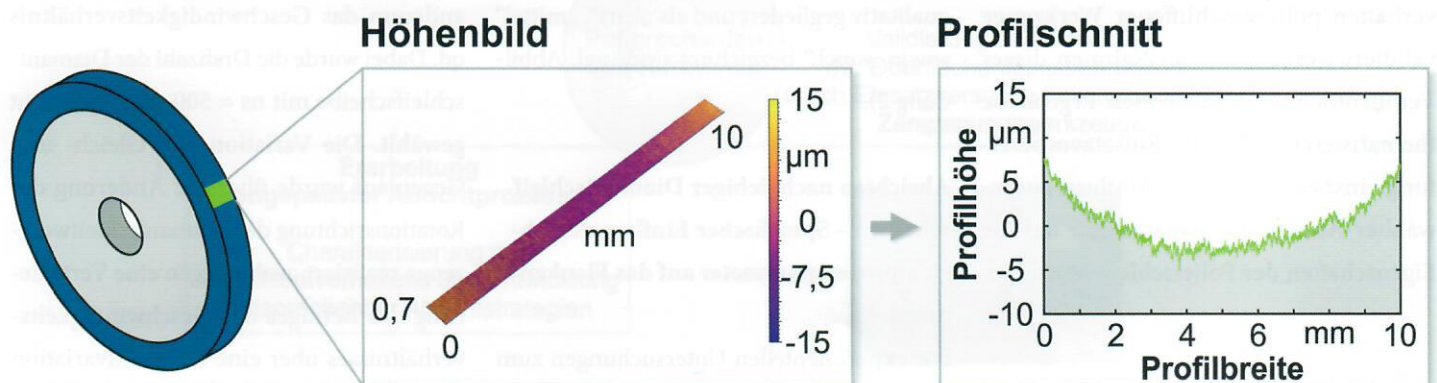
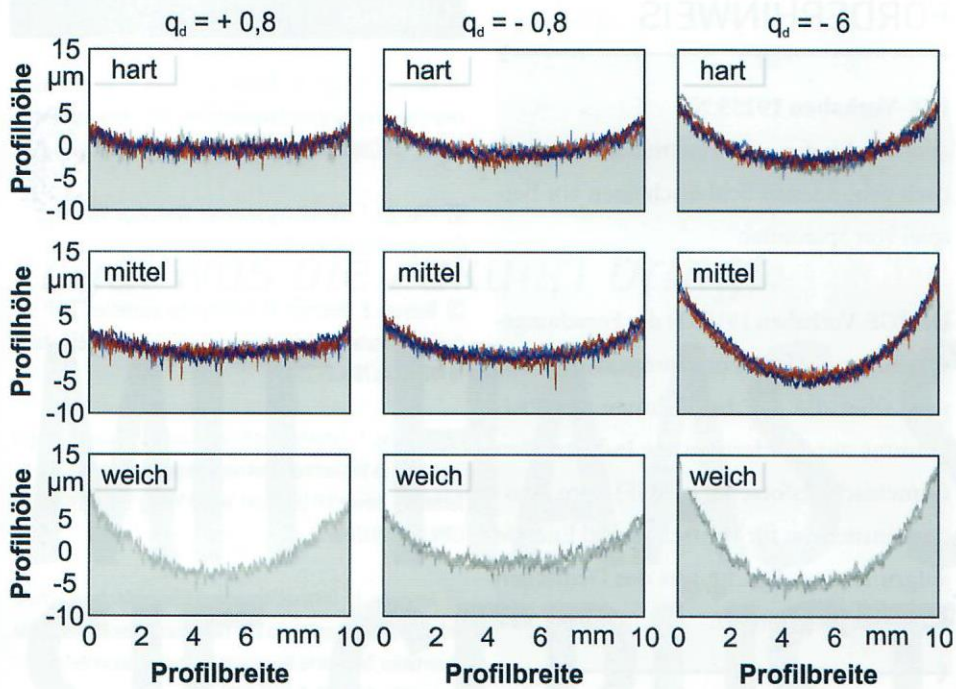


Abb. 4: Digitalisierung der Schleifscheibentopographie – Experimentelle Randbedingungen

**Diamantschleifscheiben**

Abrasiv: synthetischer Diamant
 Korngröße: $d_k = 10 \dots 15 \mu\text{m}$
 Bindungshärte: variiert

Abrichtwerkzeug

Abrasiv, Körnung: SiC, F240

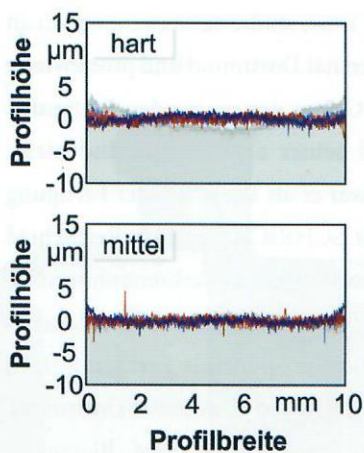
Abrichtprozessparameter

Geschwindigkeitsverh. q_d : variiert
 Überdeckungsgrad U_d : 14
 Abrichtzustellung a_{ed} : $2 \mu\text{m}$
 Gesamtzustellung $a_{ed,ges}$: $50 \mu\text{m}$
 Kühlschmierstoffkonzept: trocken

Abb. 5: Flankenprofile nachgiebiger Diamantschleifscheiben in Abhängigkeit der Variation des Geschwindigkeitsverhältnisses

prozesses elastisch gebundener Schleifscheiben. Die Profile für die jeweilige Parameterkombination weisen nur geringe Abwei-

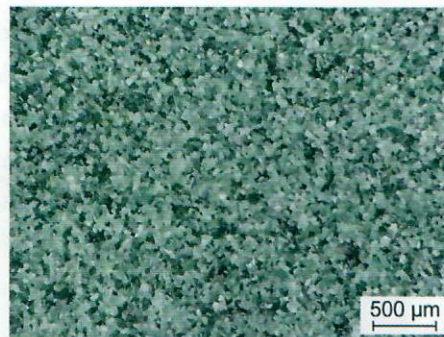
chungen auf. Dies unterstützt die These der Eignung elastisch gebundener Diamantschleifscheiben für eine reproduzierbare

**Diamantschleifscheiben**

Abrasiv: synthetischer Diamant
 Korngröße: $d_k = 10 \dots 15 \mu\text{m}$
 Bindungshärte: variiert

Abrichtwerkzeug

Abrasiv, Körnung: SiC, F240

Abrichtwerkzeug nach Einsatz**Abrichtprozessparameter**

Geschwindigkeitsverh. q_d : variiert
 Überdeckungsgrad U_d : 14
 Abrichtzustellung a_{ed} : $2 \mu\text{m}$
 Gesamtzustellung $a_{ed,ges}$: $50 \mu\text{m}$
 Kühlschmierstoffkonzept: Emulsion

Abb. 6: Abrichtprozesse unter Einfluss von Kühlschmierstoff

Präparation von Zerspanungswerkzeugen, da der Abrichtprozess die Eingangsgröße für den Schleifprozess darstellt.

Zur Analyse des Einflusses des Einsatzes von Kühlschmierstoff im Abrichtprozess, wurden die Versuche mit einem Geschwindigkeitsverhältnis von $q_d = -0,8$ ebenfalls unter Verwendung einer Emulsion durchgeführt. Analog zu Abbildung 5, sind die ermittelten Profile für die hohe und mittlere Bindungshärte der nachgiebigen Diamantwerkzeuge in Abbildung 6 gegenübergestellt.

Die bei Einsatz von Kühlschmierstoff erzielten mittleren Flankenprofile zeigen häufig Abweichungen von der zuvor erläuterten konkaven Profilgestalt, was die These einer thermisch induzierten Ausprägung eines gewölbten Schleifscheibenprofils unterstützt. Neben der Veränderung der Profilgestalt der Schleifscheiben, hat die Verwendung von Kühlschmierstoff ebenfalls Auswirkungen auf das eingesetzte Abrichtwerkzeug. Diesbezüglich ist in Abbildung 6 zusätzlich eine mikroskopische Aufnahme der SiC-Abrichtscheibe dargestellt. Wohingegen es bei trockenen Abrichtprozessen zu starken Adhäsionen des abgetrennten Materials und Zusetzungen kommt, wird dies durch die Überflutungsschmierung und Spülwirkung des Kühlschmierstoffes verhindert. Deutlich wird dies durch die lichtmikroskopische Darstellung des Abrichtwerkzeuges nach Durchführung des Abrichtprozesses.

Zusammenfassung und Ausblick

Die oben vorgestellten Ergebnisse verdeutlichen den Einfluss des Geschwindigkeitsverhältnisses von Abricht- zu Diamantschleifscheibe im Abrichtprozess bei Einsatz elastisch gebundener Diamant-



schleifscheiben. Beim Abrichten ohne den Einsatz von Kühlschmierstoff wird ein gewölbttes Schleifscheibenprofil erzeugt, welches bei einem hohen Geschwindigkeitsverhältnis (hier $q_d = -6$) deutlich stärker ausgeprägt ist, als bei geringeren Werten (hier $q_d = 0,8$). Ein wahrscheinlicher Einfluss auf die stärkere resultierende Verformung bei höherem Geschwindigkeitsquotienten ist eine thermisch induzierte Deformation. Versuche zum Einsatz von Kühlschmierstoff im Abrichtprozess zeigen, dass das sich ergebende Schleifscheibenprofil nicht immer eindeutig konkav ausgebildet wird. Der Kühlschmierstoff führt jedoch vor allem auch dazu, dass das Abrichtwerkzeug im Prozess frei gespült wird, sodass keine Zusetzungen mit abgetrenntem Material der Diamantschleifwerkzeuge entstehen.

Für folgende Untersuchungen sind Temperaturanalysen des Abrichtprozesses in Betracht zu ziehen, um die obige These einer thermisch induzierten Verformung zu validieren. Darüber hinaus muss die mechanische Verformung im Abrichtprozess ebenfalls einbezogen und analysiert werden. Die experimentellen Untersuchungen verdeutlichen das Potenzial angepasster Abrichtstrategien für nachgiebige Diamantschleifscheiben, da die Gestalt der Werkzeuge reproduzierbar beeinflusst werden kann. Eine Analyse des Einflusses der verschiedenen Abrichtprozesse auf die erzielte Oberflächenbeschaffenheit im Polierschleifprozess von Hartmetall sowie das spezifische Verformungsverhalten wird in weiterführenden Untersuchungen thematisiert werden. ■

FÖRDERHINWEIS

IGF-Vorhaben 19155 N

„Polierschleifen von Hartmetall mit elastisch gebundenen Schleifscheiben am Beispiel von Spannuten“

Das IGF-Vorhaben 19155 N der Forschungsvereinigung VDW-Forschungsinstitut e.V. wird 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.

LITERATUR

- [1] Biermann, D.; Wolf, M.; Barthelmä, F.; Preiß, P.: Vor- und Nachbehandlung beschichteter Einlippenbohrer. WB – Werkstatt und Betrieb, 148 (2015) 1/2, S. 16–19
- [2] Friemuth, T.: Herstellung spanender Werkzeuge. VDI Verlag, Düsseldorf, 2002, ISBN 978-3-18-361502-5
- [3] Denkena, B.; Biermann, D.: Cutting edge geometries. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 63 (2014) 2, S. 631–653, doi: 10.1016/j.cirp.2014.05.009
- [4] Heymann, T.: Schleifen und Polierschleifen von wendelförmigen Spannuten an Vollhartmetallbohrwerkzeugen. Dissertation, Technische Universität Dortmund, Vulkan Verlag, Essen, 2015, ISBN 978-3-8027-8778-2
- [5] Abrahams, H.: Untersuchungen zum Führungsleistenverschleiß und zur Prozessdynamik beim BTA-Tiefbohren austenitischer Stähle. Dissertation, Technische Universität Dortmund, Vulkan Verlag, Essen, 2016, ISBN 978-3-8027-8792-8
- [6] Heinzel, C.; Wagner, A.: Fine finishing of gears with high shape accuracy. CIRP Annals – Manufacturing Technology, 62 (2013), S. 359–362
- [7] Wagner, A.: Feinschleifen von Verzahnungen mit elastischen Schleifscheiben. Dissertation, Universität Bremen, Shaker Verlag, Aachen, 2017, ISBN 978-3-8440-5030-1

AUTOREN

Institut für Spanende Fertigung (ISF), TU Dortmund

Monika Kipp M.Sc.

Jahrgang 1990, studierte Wirtschaftsingenieurwesen mit Fachrichtung Produktionsmanagement an der Technischen Universität Dortmund. Seit April 2015 ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Schleiftechnologie des Instituts für Spanende Fertigung der Technischen Universität Dortmund tätig. Ihr Tätigkeitsbereich umfasst u. a. die Schleif- sowie Feinbearbeitung von Hartmetallen.

Prof. Dr.-Ing. Dirk Biermann

Jahrgang 1963, studierte Maschinenbau an der Universität Dortmund und promovierte auf dem Gebiet der spanenden Fertigung. Während seiner achtjährigen Industrietätigkeit war er als Bereichsleiter Fertigung bei der Dr. SCHRICK GmbH in Remscheid für die Produktion von Verbrennungsmotoren verantwortlich. Seit April 2007 leitet er das Institut für Spanende Fertigung (ISF) an der Technischen Universität Dortmund. Von 2011 bis 2012 war Prof. Biermann Dekan der Fakultät Maschinenbau und von 2014 bis 2016 Prorektor Forschung an der Technischen Universität Dortmund.

MESSESTAND

Halle 1C, Stand 1910