

## Analyse des Einlaufverhaltens metallisch gebundener Diamant-Finishwerkzeuge

# Werkzeug-Einlaufverhalten beim Microfinishen

M. Tilger, D. Biermann

**ZUSAMMENFASSUNG** Die Untersuchungen vergleichen das Einlaufverhalten metallisch gebundener Diamant-Microfinishwerkzeuge in unterschiedlichen Konditionierzuständen. Die Analyse erfolgt werkstück-, prozess- als auch werkzeugeitig anhand von Oberflächengüte, Prozesskräften und Werkzeugtopographie. Hierdurch wird die Wirkung der Konditionierzustände auf das Einlaufverhalten des Werkzeugs respektive das Erreichen der stationären Prozessphase untersucht und hinsichtlich der auftretenden Wechselwirkungen analysiert.

## STICHWÖRTER

Feinbearbeitung, Werkzeuge, Produktionstechnik

## Analysis of the running-in behavior of metal-bonded diamond finishing tools – Tool run-in behavior during microfinishing

**ABSTRACT** The present investigations compare the run-in behavior of metal-bonded diamond microfinishing tools in different conditioning states. The analysis is carried out on the workpiece, process and tool sides on the basis of surface quality, process forces and tool topography. The effect of the conditioning states on the run-in behavior of the tool and the achievement of the stationary process phase is investigated and analyzed with regard to interactions.

## 1 Einleitung und Motivation

Die Weiterentwicklung technischer Funktionsoberflächen und die damit einhergehenden steigenden Anforderungen hinsichtlich der fertigungsbedingten Oberflächenkonditionierung erfordern neue Lösungen im Bereich der Fertigungstechnik. Diese umfassen neben neuen Fertigungsverfahren und -strategien unter anderem auch neue Werkzeugkonzepte im Bereich der Fein- und Feinstbearbeitung. Dies betrifft auch das Microfinishen, alternativ Superfinishen genannt, welches nach DIN 8589-14 als Kurzhubhonen definiert ist und vorrangig zur Herstellung rotationssymmetrischer Funktionsflächen dient [1, 2]. Insbesondere Bauteile, die in ihrer Anwendung Reib- oder Gleitkontakt unterliegen, wie Lagerstellen an Antriebswellen und Wälzkörper von Lagern oder auch Lagerringe werden mittels Microfinishen final bearbeitet [3]. Verfahrensspezifisch für das Microfinishen ist hierbei die Kinematik, bei der eine Rotationsbewegung des Werkstücks mit einer kurzhubigen Oszillationsbewegung des Werkzeugs überlagert wird. Infolgedessen entstehen sich kreuzende Riefen auf der Werkstückoberfläche [2-4]. Die Wirkmechanismen des Verfahrens sind aufgrund der kraftinduzierten Prozessführung mittels pneumatisch erfolgreicher Zustellbewegung primär kraftgebunden. Aufgrund dieser Kinematik ergibt sich ein typischerweise flächiger Kontakt zwischen Werkzeug und Werkstück [5, 6]. Neben Werkzeugen auf flexibler Unterlage, sogenannten Finishbändern, können hierzu starr gebundene Werkzeuge in Form von Finish- oder Honsteinen eingesetzt werden [2, 7, 8]. Typischerweise bestehen diese aus einer Bindungsmatrix aus Kunstharz oder Keramik, in der Schneidkörner eingebettet sind

[9]. Der Einsatz metallischer oder hybrider Bindungssysteme zum Microfinishen ist dagegen eine relativ neue Entwicklung der letzten Jahre. Hierbei kommen cBN oder Diamant als Schneidkorn zum Einsatz. Metallisch gebundene Finishwerkzeuge und ihr Einsatz stehen auch im Fokus der Forschung des Instituts für Spanende Fertigung (ISF) der Technischen Universität Dortmund. Gemeinsam mit dem Lehrstuhl XIV der Informatik (Virtual Machining) der TU Dortmund und den Unternehmen Nagel Maschinen- und Werkzeugfabrik GmbH, Elgan Diamantwerkzeuge GmbH und Alicona Imaging GmbH forscht das ISF im Rahmen eines DFG-Transferprojektes zur „simulationsgestützten Werkzeug- und Prozessauslegung beim Microfinishen mit metallisch gebundenen Honwerkzeugen“.

Wie allgemein in der Feinbearbeitung hat auch beim Microfinishen der Werkzeugzustand einen erheblichen Einfluss auf das Bearbeitungsergebnis. Im Gegensatz zum Schleifen kann ein optimal eingestellter Finishprozess im sogenannten Selbstschärfbereich ohne zwischenzeitliches Abrichten des Werkzeugs auskommen [10]. Hierbei erwirkt der flächenhafte Kontakt von Finishstein und Werkstückfläche eine gleichmäßige Bindungsrücksetzung, sodass Schneidkörner aus der Bindung ausbrechen und neue, scharfe Schneidkörner freigesetzt werden können. Zusätzlich kann das Splintern der Schneidkörner zur Bildung neuer scharfer Schneidkanten am Korn führen und die Selbstschärfung unterstützen. Weitere Formen des Kornverschleißes wie Kornverrundung oder -abflachung sind für eine Selbstschärfung des Werkzeugs hingegen ungünstig. Trotz der initialen Vorbereitung von Microfinishwerkzeugen existiert ein Einlaufverhalten des Werkzeugs bis zum stationären Prozessverlauf, sodass zu Beginn

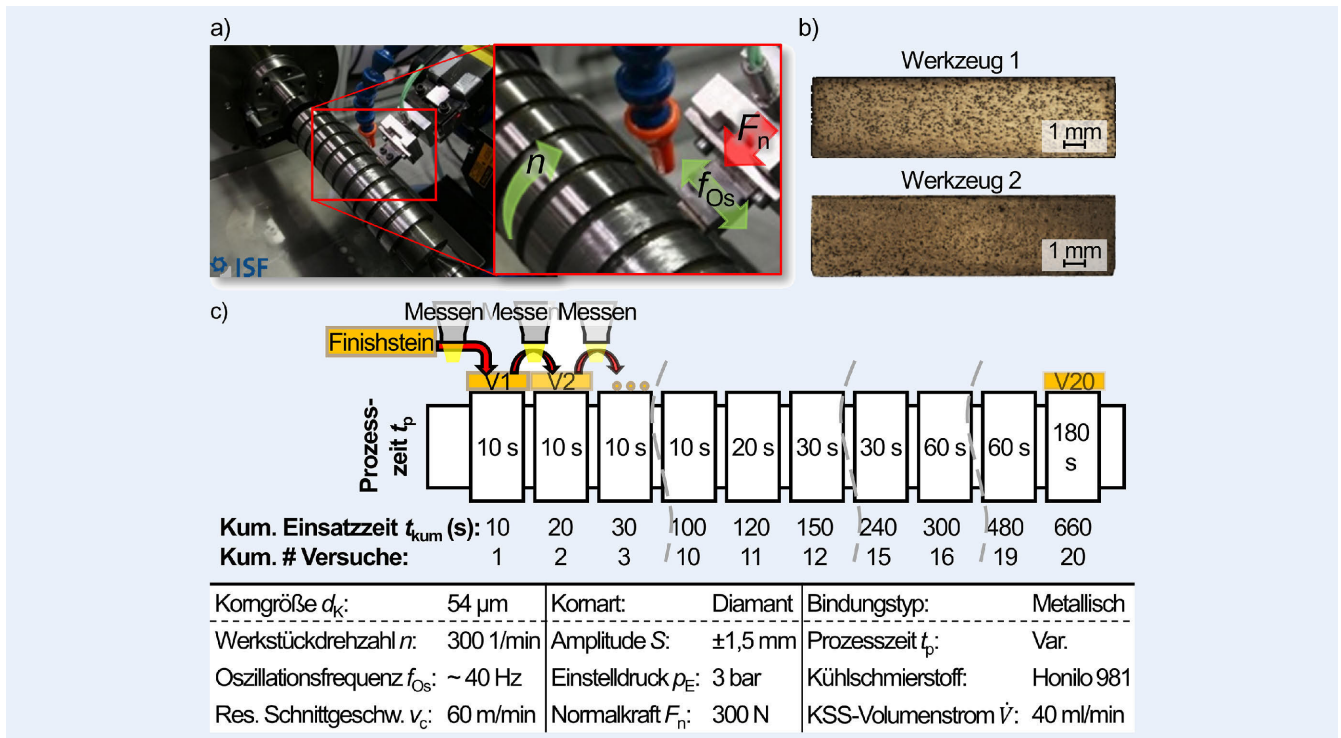


Bild 1. Darstellung der a) Versuchspерipherie und b) Versuchswerkzeuge sowie c) schematische Darstellung des Versuchsablaufs. Grafik: ISF, TU Dortmund

des Werkzeugeinsatzes gewünschte Oberflächengüten nur bedingt erreicht werden können. Dies ist zu berücksichtigen, um im Produktionsprozess benötigte Fertigungsqualitäten durchgehend zu gewährleisten [10, 11]. Das Einlaufverhalten metallisch gebundener Finishwerkzeuge ist auch der Fokus der beschriebenen Untersuchungen. Ziel der Untersuchungen ist es, anhand von Messungen der Werkstück-Oberflächengüte, Prozesskräfte und Werkzeugtopografie ein mögliches Einlaufverhalten zu detektieren und, wenn möglich, das Erreichen des stationären Arbeitszustands des Werkzeugs zu definieren.

## 2 Versuchspерipherie

Die Versuchsdurchführung erfolgte auf einer Außenrunddrehmaschine vom Typ „RS 600 C CL“ der Firma Geibel und Hotz GmbH unter Verwendung eines Steinfinishgerätes „SG50“, das seitens der Firma Nagel Maschinen- und Werkzeugfabrik GmbH zur Verfügung gestellt wurde. Als Versuchswerkstücke wurden Absatzwellen aus Einsatzstahl 16MnCr5 im einsatzgehärteten Zustand ( $58 \pm 2$  HRC) eingesetzt, welche vor den Versuchen geschliffen wurden. Die initiale gemittelte Rautiefe für die Versuchsabsätze lag bei  $Rz = 1,5\text{--}3,5$   $\mu\text{m}$ . Die Finishsteine mit einer Abmessung von  $15 \times 4$  mm bestehen aus einer metallischen Bindung mit Diamant-Schneidkörnern der Korngröße  $d_k = 54$   $\mu\text{m}$  und wurden von der Firma Elgan Diamantwerkzeuge GmbH zur Verfügung gestellt. Bild 1 stellt den Versuchsaufbau a), die eingesetzten Finishwerkzeuge b) sowie in schematischer Darstellung den Versuchsablauf c) dar.

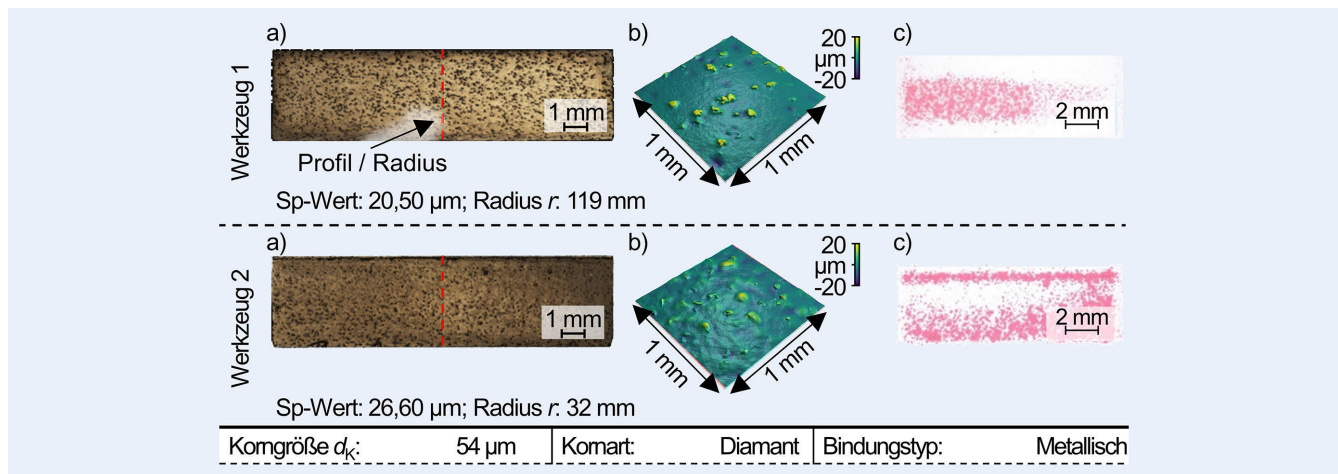
Die beiden eingesetzten Finishsteine, bezeichnet mit Werkzeug 1 und 2, unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Konditionierhistorie, die aus Gründen der Geheimhaltungspflicht nicht detailliert erläutert wird. Allerdings sei angemerkt, dass die Profilierung von Werkzeug 1 alternativ am ISF durchgeführt wurde, während bei

Werkzeug 2 bereits im Herstellungsprozess seitens Elgan eine Profilierung vorgenommen wurde. Die erzeugten Profile entsprechen in beiden Fällen einer konkaven Form, die einen flächigen Kontakt zwischen Werkstück und Werkzeug bereits zu Einsatzbeginn gewährleisten soll. Im Laufe des Werkzeugeinsatzes kann sich der Radius der konkaven Gestalt weiter verändern oder auch, in Abhängigkeit des Eingriffswinkels zwischen Werkzeug und Werkstück, eine Verschiebung des Profils stattfinden.

Während der durchgeführten Versuche wurde vor jedem Prozess die Kontaktfläche mittels Druckmessfolie qualitativ ermittelt, um sicherzustellen, dass ein flächiger Kontakt vorliegt.

Im Anschluss an das Profilieren erfolgte eine Bindungsrücksetzung der Werkzeuge mit geringfügiger Variation, um unterschiedliche Ausgangstopografien zu generieren. Die Analyse der Werkzeuge hinsichtlich ihrer Topografie erfolgte anhand optischer Messungen, die mittels Fokusvariation an einem „Alicona Infinite Focus G5“ der Firma Alicona Imaging GmbH durchgeführt wurden. Die Werkzeuge werden in Bild 2 gegenübergestellt. Hierbei wird neben der mikroskopischen Ansicht (a) ein Ausschnitt der 3D-Topografie (b) und die Kontaktfläche mit dem Werkstück (c) vor dem ersten Einsatz dargestellt.

Mittels Auswertung der maximalen Spitzenhöhe der Oberfläche  $Sp$  für beide Werkzeuge lässt sich entsprechend Rückschluss auf die vorliegenden Kornüberstände ziehen. Das beim Werkzeughersteller profilierte Werkzeug (Werkzeug 2) weist hierbei mit  $Sp = 26$   $\mu\text{m}$  einen höheren Wert auf als das am ISF profilierte Werkzeug ( $Sp = 20$   $\mu\text{m}$ ). Somit lässt sich sagen, dass ein höherer Kornüberstand vorliegt. Darüber hinaus unterscheiden sich die erzeugten Radien der Profilierung, sodass sich die Kontaktflächen zwischen Werkzeug und Werkstück zu Beginn des Einsatzes unterscheiden. Darüber hinaus ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Profilierung Abweichungen der erzeugten Radien in den Werkzeugen. Werkzeug 1 weist hierbei einen



**Bild 2.** Finish-Werkzeuge im Initialzustand a) mikroskopische Aufnahme, b) 3D-Topographie und c) Abbild der Kontaktfläche zwischen Werkzeug und Werkstück vor dem ersten Einsatz. Grafik: ISF, TU Dortmund

Radius  $r = 119$  mm gegenüber Werkzeug 2  $r = 32$  mm auf. Beide Werkzeuge stehen in flächigem Kontakt zum Werkstück, wobei die Kontaktlänge  $l_k$ , respektive Umschlingung für Werkzeug 1 kleiner ist als bei Werkzeug 2. Dieser Effekt lässt sich entsprechend in Bild 2 Teil c) erkennen. Hier ist die Höhe des Kontaktes deutlich kleiner.

Neben der Messung der Finishstein-Topografie erfolgte die in-situ-Aufnahme der Prozesskräfte durch einen piezoelektrischen Sensor vom Typ „9017C“ der Firma Kistler Instrumente AG sowie die in-situ-Aufzeichnung der Oszillationsamplitude mittels Lasertriangulation unter Verwendung eines Lasers „LK-G32“ der Firma Keyence Corporation. Für die Einsatzversuche wurden die Finishsteine fortlaufend bei konstanten Parametern auf jeweils 20 Wellenabsätzen eingesetzt. Hierbei variierte die Prozesszeit  $t_p$  zwischen  $t_p = 10, 20, 30, 60$  und  $180$  s. Die kumulierte Werkzeug-Einsatzzeit  $t_{E,kum}$  nach insgesamt 20 Versuchen betrug  $t_{E,kum} = 660$  s.

### 3 Versuchsergebnisse

Aus den unterschiedlichen Messdaten ergeben sich die zu betrachtenden Ergebnisse hinsichtlich Werkstück-, Prozess- und Werkzeuganalyse. Für die Werkstückanalyse wird hierbei ausschließlich die gemittelte Rautiefe  $R_z$  in Betracht gezogen. Basierend auf zwölf taktilen Rauheitsmessungen je Versuchsabsatz erfolgte die Auswertung des Mittelwertes. Dargestellt sind die Mittelwerte, Minimal- und Maximalwerte sowie eine Trendlinie (Polynom 3. Grades) im Diagramm in Bild 3.

Über die kumulierte Einsatzzeit des Werkzeugs lässt sich eine Abnahme der erzeugten Oberflächengüte gut erkennen. Neben den Mittelwerten nehmen auch die Streuungen der Messwerte für beide Werkzeuge ab. Ab einer Einsatzzeit von circa  $t_{E,kum} = 150$  s ergeben sich  $R_z$ -Werte von  $R_z = 2,5 - 4$  µm, wobei Werkzeug 2 tendenziell niedrigere Rauheiten erzeugt. Die erzielten  $R_z$ -Werte ab einer kumulierten Einsatzzeit von  $t_{E,kum} = 150$  s entsprechen den zu erwartenden Werten für den Einsatz von Diamant-Finishwerkzeugen mit einer Korngröße von  $d_k = 54$  µm.

Die zu Beginn der Einsatzzeit verhältnismäßig hohen  $R_z$ -Werte sind vermutlich auf die Ausgangstopografie der konditionierten Finishwerkzeuge zurückzuführen. Hierbei wird der Kornüber-

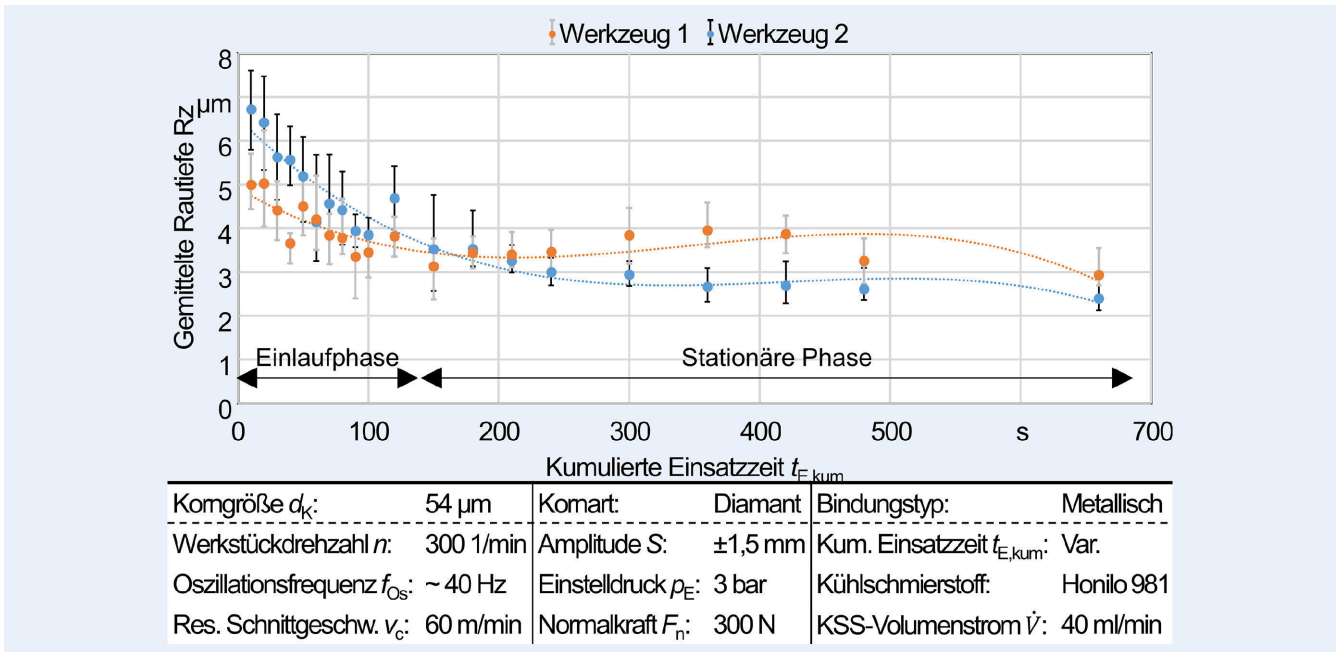
stand als maßgeblich angesehen und ist vermutlich höher als dies im Selbstschärfe-Bereich des Finishwerkzeugs ist. Eine Überprüfung dieser Hypothese erfolgt später auf Basis der maximalen Spitzenhöhe  $Sp$ . Auch die Unterschiede zwischen den jeweiligen Werkzeugen im Bereich  $t_{E,kum} > 120$  s werden auf diese Effekte zurückgeführt.

Im Folgenden zeigt Bild 4 die Normal- und Tangentialkräfte der Prozesse für a) Werkzeug 1 und b) Werkzeug 2. Die Whisker stellen hierbei Minimal- und Maximalwert des ausgewerteten Messbereichs dar. Die Auswertung der Mittelwerte erfolgte anhand eines Messbereichs von 8 s der Prozesszeit  $t_p$  unabhängig von der Dauer des jeweiligen Versuchs.

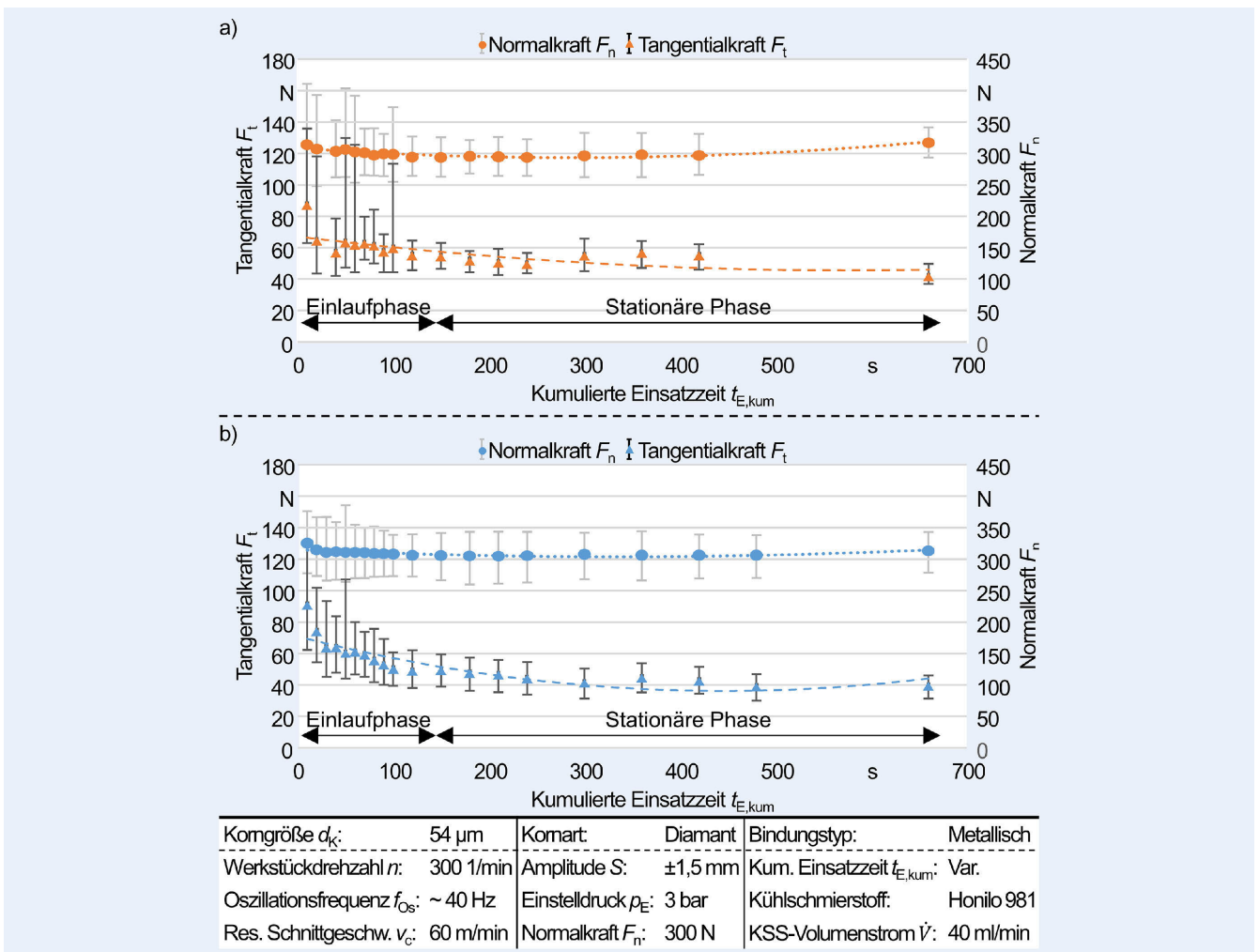
Für die Normalkräfte  $F_n$  ergeben sich aufgrund der kraftinduzierten Prozessführung weitestgehend konstante Werte von  $F_n = 300$  N, wobei jedoch, insbesondere für Werkzeug 1, eine Abnahme der Streuungen mit zunehmender kumulierter Einsatzzeit auffällt. Diese abnehmende Streuung der Normalkräfte lässt sich auf eine Reduktion von Reibung im Prozess zurückführen. Ausgehend von der Werkzeugtopografie sind die zwischen Werkzeug und Werkstück vorliegenden Mikrokontakte veränderlich und beeinflussen darüber hinaus die bei Relativbewegung auftretende Reibung. Durch die Werkzeugumschlingung und den flächigen Kontakt wirken die Reibkräfte anteilig auch in Normalenrichtung des Werkzeugs. Ebenso wie bei den ermittelten  $R_z$ -Werten wird von einer Veränderung der Werkzeugtopografie in Form einer Verringerung der Kornüberstände ausgegangen, die zu einer Reduzierung der Reibung und damit einer Abnahme der Streuung in den Kraftmessungen führt.

Für die Tangentialkräfte zeigt sich ein abfallender Verlauf entlang der kumulierten Einsatzzeit des Finishwerkzeugs, bei der sich die Tangentialkräfte asymptotisch einer Kraft von  $F_t = 50$  N für Werkzeug 1 und  $F_t = 40$  N für Werkzeug 2 annähert. Hierbei nehmen auch die Streuungen der Messwerte erkennbar ab.

Analog zu den ausgewerteten Rauheiten lässt sich für die betrachteten Prozesskräfte ab einer kumulierten Einsatzzeit der Werkzeuge von  $t_{E,kum} = 150$  s ein konstantes Prozessverhalten über alle nachfolgenden Bearbeitungen registrieren. Dies kann bedeuten, dass die Finishwerkzeuge den Selbstschärfbereich und damit den geeigneten Einsatzzustand erreicht haben. Mithilfe weiterer Analysen wie der Werkzeugtopografie erfolgt im späteren eine differenziertere Betrachtung hierzu.



**Bild 3.** Entwicklung der erzeugten Werkstück-Oberflächengüte in Abhängigkeit von der Werkzeug-Einsatzzeit  $t_{E,kum}$  anhand der gemittelten Rautiefe Rz. Grafik: ISF, TU Dortmund



**Bild 4.** Darstellung der Normal- und Tangentialkraft für a) Werkzeug 1 und b) Werkzeug 2 in Abhängigkeit von der Einsatzzeit  $t_{E,kum}$ . Grafik: ISF, TU Dortmund

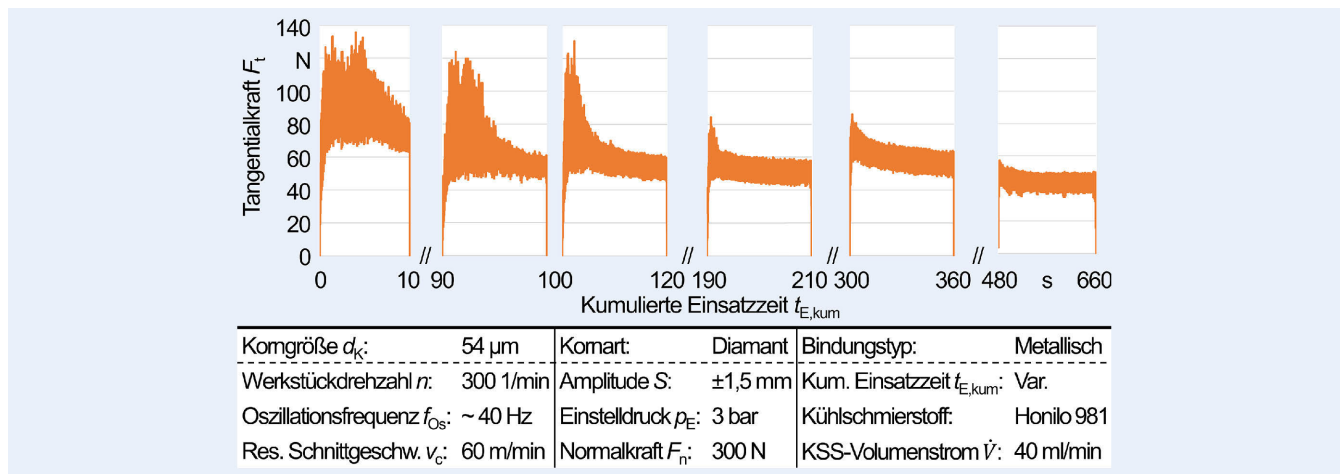


Bild 5. Exemplarische Darstellung der Tangentialkraftverläufe für Werkzeug 1 zu unterschiedlichen Einsatzzeiten. Grafik: ISF/TU Dortmund

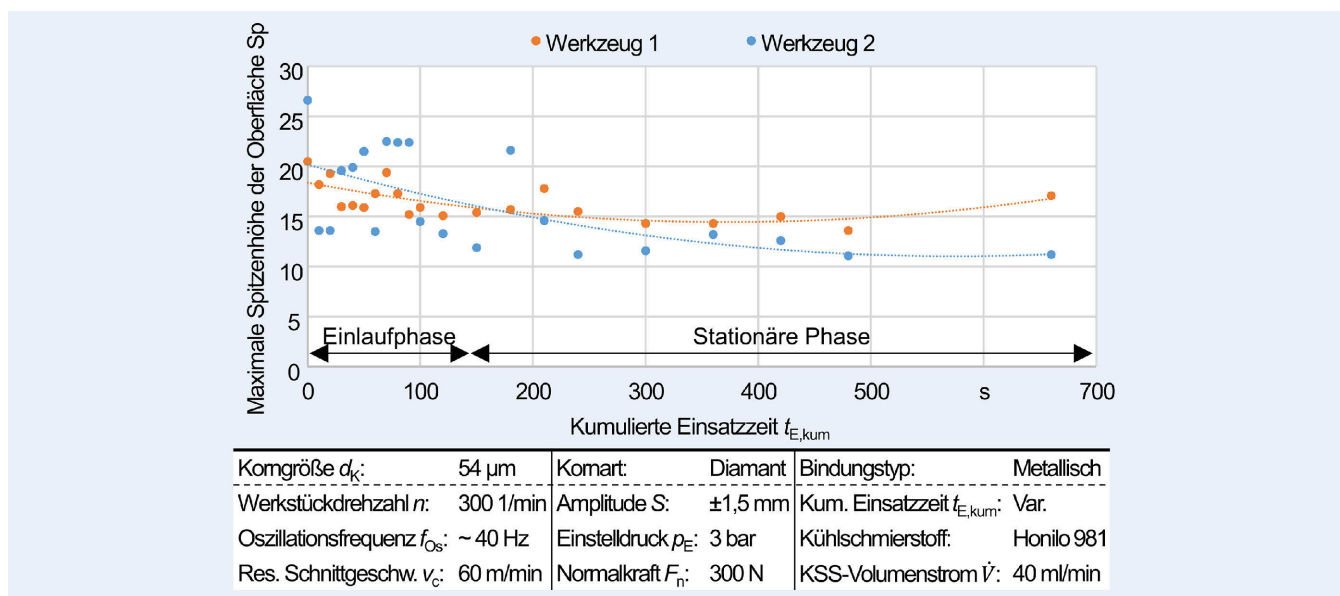


Bild 6. Auswertung der maximalen Spitzenhöhe der Werkzeugoberfläche  $S_p$  in Abhängigkeit von der Einsatzzeit  $t_{E,kum}$ . Grafik: ISF/TU Dortmund

Zur weiteren Analyse der Prozesskräfte sind exemplarisch Kraftmessschriebe von Werkzeug 1 dargestellt. Die exemplarischen Messschriebe sind analog zum zeitlichen Ablauf aufgeführt und zwecks Darstellung in einem Bild auf eine identische Breite skaliert (Bild 5).

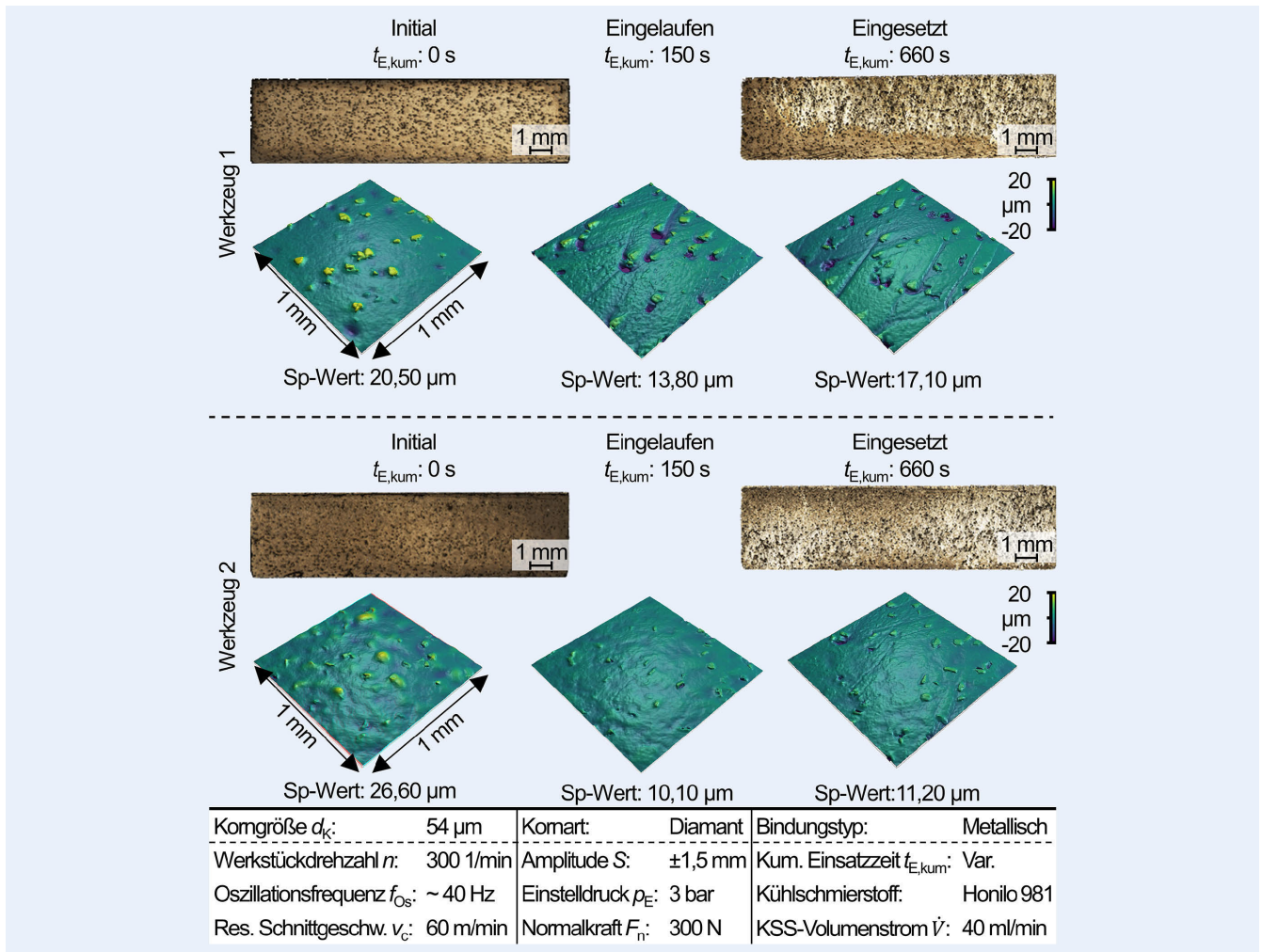
Aufgrund des abrupten Werkzeug-Werkstückkontaktes über die Druckbeaufschlagung des Pneumatik-Zylinders lässt sich ein sprunghafter Kraftanstieg zu Beginn des jeweiligen Prozesses erkennen. Für jeden einzelnen Prozess lässt sich infolge der Kontaktherstellung zwischen Werkzeug und Werkstück im Mittel ein regressives Verhalten der Tangentialkraft betrachten. Dieser Effekt fällt jedoch mit zunehmender Einsatzzeit des Werkzeugs  $t_{E,kum}$  geringer aus und auch das Niveau der Kräfte nimmt, wie bereits in Bild 4 beobachtet, ab.

Grundsätzlich beschreibt die Tangentialkraft  $F_t$  die Kraft in Richtung der tangentialen Schnittgeschwindigkeit  $v_{ct}$  und könnte als solche bei konstanter Werkstückdrehzahl  $n$  als konstant angenommen werden. Allerdings unterliegt der Microfinishprozess aufgrund seines flächenhaften Kontaktes zwischen Werkzeug und Werkstück und der kraftinduzierten Prozessführung dem Einfluss

von Reibung in der Kontaktzone. Typischerweise verändern sich Werkzeug und Werkstücktopografie im Prozess, und die Reibung wird reduziert. Dieser Effekt erklärt auch die regressiven Verläufe innerhalb der einzelnen Prozesse, vgl. Bild 5. Die über die kumulierte Einsatzzeit  $t_{E,kum}$  abnehmende Tangentialkraft wird daher ebenso auf die Veränderung der Werkzeugtopografie und die Abnahme der Kornüberstände zurückgeführt. Um die mehrfach formulierte Hypothese hinsichtlich des Einflusses der Werkzeugtopografie zu prüfen, folgt die Analyse der über die Einsatzzeit sukzessive gemessenen Werkzeuge.

Für diese Betrachtung wurden die Werkzeuge nach jedem Versuch mittels Fokusvariation optisch gemessen und anschließend ein Messbereich von 1x1 mm zur Auswertung betrachtet. Hierbei wurde die maximale Spitzenhöhe der Oberfläche  $S_p$  als Kennwert herangezogen und hinsichtlich der Veränderung über die Einsatzzeit der Werkzeuge betrachtet. Die Ergebnisse hierzu sind in Bild 6 dargestellt.

Unter der Berücksichtigung der polynomischen Trendlinien (2. Grades) lässt sich ein abnehmender Verlauf erkennen, der zu den bisherigen Betrachtungen von Prozesskraft und Oberflächen-



**Bild 7.** Gegenüberstellung der Werkzeuge im Initialzustand ( $t_{E,kum} = 0 \text{ s}$ ), nach Erreichen der stationären Phase ( $t_{E,kum} = 150 \text{ s}$ ) und am Ende der Versuchsreihe ( $t_{E,kum} = 660 \text{ s}$ ). Grafik: ISF/TU Dortmund

rauheit grundlegend passend erscheint. Allerdings sind insbesondere für Werkzeug 2 hohe Streuungen der Sp-Werte bis zu einer Einsatzzeit von  $t_{E,kum} = 200 \text{ s}$  zu erkennen. Nach Erreichen von 200 s Einsatzzeit verändern sich die Sp-Werte beider Werkzeuge nur noch geringfügig. Gleichzeitig lässt sich festhalten, dass ab diesem Zeitpunkt die Sp-Werte für Werkzeug 1 verglichen mit Werkzeug 2 geringfügig höher ausfallen.

Abschließend sind in **Bild 7** die Werkzeuge im Initialzustand sowie nach einer Einsatzzeit von  $t_{E,kum} = 660 \text{ s}$  dargestellt. Die qualitative Darstellung beinhaltet neben der digitalmikroskopischen Aufnahme die Darstellung der 3D-Topografie eines  $1 \times 1 \text{ mm}$  großen Ausschnitts der  $2 \times 3 \text{ mm}$  Messung, die mittig des Werkzeugs durchgeführt wurde.

Im Vergleich der Initialzustände zum eingesetzten Zustand lässt sich erkennen, dass sich durch die Veränderung des Werkzeugs die farbliche Erscheinung der Werkzeuge verändert. Zusätzlich weisen die eingesetzten Finishwerkzeuge Kreuzriefen in der Bindung auf, die aus der Prozesskinematik resultieren. Besonders deutlich sind diese auch in der 3D-Topografie von Werkzeug 1 zu erkennen. Bei Gegenüberstellung der eingesetzten Werkzeuge lässt sich für Werkzeug 2 ein homogeneres Erscheinungsbild erkennen. Im Gegensatz dazu wirkt bei Werkzeug 1

der linke Bereich und das untere Drittel dunkler und ist bezogen auf die optische Erscheinung dem Ausgangszustand ähnlicher.

Insgesamt lässt sich für die Werkzeugtopografie anhand der maximalen Spitzenhöhe der Oberfläche Sp eine klare Tendenz hinsichtlich des Einlaufverhaltens erkennen. Die quantitativen Werte decken sich mit der aus den Analysen von Werkstückrauheit und Prozesskräften formulierten Theorie, dass bis zum Erreichen der stationären Phase der Kornüberstand abnimmt, was mit den abnehmenden Sp-Werten korreliert. Dies lässt sich auch an den 3D-topografischen Darstellungen erkennen. Im Vergleich der Sp-Werte ist Werkzeug 1 tendenziell etwas höher und weist demnach größere Kornüberstände auf. Es wird angenommen, dass dies die höheren Tangentialkräfte und Rz-Werte bedingt.

Ursächlich hierfür kann die alternative Profilmethode sein, mit der vor Versuchsstart ein Radius in das Werkzeug eingearbeitet wurde. Eine ungleichmäßige Werkzeugprofilierung bedingt einen ungleichmäßigen Eingriff. Durch die kraftinduzierte Prozessführung steigt die resultierende Flächenpressung bei kleinerer Kontaktfläche, und es kommt zu höheren, spezifischen Belastungen auf die aktiven Schneidkörner. Hieraus kann eine höhere Reibung im Prozess resultieren, was die Prozesskräfte direkt und über die Materialabtragsmechanismen die Oberflächengüte beeinflusst. Für das Microfinishen ist eine größere Reibung gleichbe-

deutend mit einer Abnahme an Mikrospanen und Zunahme von Mikropflügen und -furchen, wodurch Materialaufwürfe entstehen, die die Oberflächenrauheit erhöhen.

## 4 Zusammenfassung

In den dargestellten Untersuchungen wurde das Einlaufverhalten für zwei unterschiedlich konditionierte metallisch gebundene Diamant-Finishwerkzeuge analysiert. Anhand werkstück-, prozess- und werkzeugspezifischer Messgrößen, wie gemittelter Rauhtiefe Rz, Normal- und Tangentialkraft sowie maximaler Spitzenhöhe der Oberfläche  $S_p$ , konnte detektiert werden, dass ein entsprechendes Einlaufverhalten vorliegt. Erst ab Erreichen einer Einsatzzeit von  $t_{E,kum} = 150$  s beginnt für beide Werkzeuge eine stationäre Phase, in der die gemessenen Kennwerte weitestgehend konstant bleiben und sich ein stabiler Prozess ergibt. Für Werkzeug 1 stellt sich die stationäre Phase früher ein, was sich auf den geringeren initialen Kornüberstand (vgl.  $S_p$ -Werte) zurückführen lässt.

Die bei den Untersuchungen festgestellten Abweichungen werden auf die unterschiedliche Profilierungsmethode und die Abweichungen im erzielten Profil zurückgeführt. Hieraus resultiert ein unvollständiger Werkzeug-Werkstück-Kontakt, sodass die Flächenpressung respektive die spezifische Einzelkornbelastung zunehmen. Hierdurch erhöht sich die Reibung im Prozess, und die Materialabtragsmechanismen verändern sich, wodurch wiederum das Bearbeitungsergebnis beeinflusst wird. Offen bleibt die Frage, ob das gewünschte Profil für das betreffende Werkzeug (Werkzeug 1) bei weiterem Einsatz durch Bindungsverschleiß noch entsteht und so die vollständige Werkzeugfläche in Eingriff kommt, oder ob hierfür eine erneute Profilierung notwendig ist.

### FÖRDERHINWEIS

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des DFG-Transferprojekts „Simulationsgestützte Werkzeug- und Prozessauslegung beim Microfinishen mit metallisch gebundenen Honwerkzeugen“ (Projektnummer: 450792335) erzielt.

### DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich bei den Projektpartnern Nagel Maschinen- und Werkzeugfabrik GmbH und Elgan Diamantwerkzeuge GmbH & Co. KG für die Bereitstellung von Geräten und Werkzeugen sowie die Unterstützung bei der Versuchsplanung. Ebenso gilt der Dank der Firma Alicona Imaging GmbH für die Unterstützung bei der Fokusvariations-Messung und Auswertung von Messdaten.

Des Weiteren danken die Autoren den Studierenden *Jakob Steinert*, *Genevieve Günther* und *Johanna Vergin* für Ihr Engagement bei der Versuchsdurchführung, Messwertaufnahme und Auswertung.

### Literatur

- [1] DIN 8589-14: Fertigungsverfahren Spanen. Teil 14: Honen – Einordnung, Unterteilung, Begriffe. Berlin: Beuth Verlag GmbH. September 2003.
- [2] Hashimoto, F.; Yamaguchi, H.; Krajnc, P.; Wegener, K.; Chaudhari, R.; Hoffmeister, H.-W.; Kuster, F. Abrasive fine-finishing technology. In: CIRP Annals 65 (2016) 2, DOI: 10.1016/j.cirp.2016.06.003, S. 597–620.
- [3] Schibisch, D. M.; Friedrich, U. Superfinish-Technologie: Feinste Oberflächen für höchste Präzision. Landsberg/Lech: Verl. Moderne Industrie, 2001, ISBN: 3-478-93253-X.
- [4] Goeke, S. Oberflächenstrukturierung tribologisch beanspruchter Funktionsflächen durch Microfinishen: ISF – Band 86. 1. Auflage. Essen: Vulkan, 2017, ISBN: 3-802-78790-0.
- [5] Biermann, D.; Wiederkehr, P.; Kansteiner, M.; Tilger, M. Einfluss der Andrückrollenhardt beim Microfinishen. Analyse der Kontaktbedingungen und der erzielten Oberflächenrauheiten, In: wt Werkstattstechnik online 107; Jg. 2017 (2017), 1/2, S. 59–65.
- [6] Hildebrandt, O.: Superfinish – Ein innovatives Verfahren zur Verbesserung von Oberfläche und Form: In: Tawakoli, Taghi (Hrsg.): Moderne Schleiftechnologie und Feinstbearbeitung 2010: neue Entwicklungen und Trends aus Forschung und Praxis. 8. Seminar. Villingen-Schwenningen: Fachhochsch. Furtwangen, Abt. Villingen-Schwenningen, 2010, S. 12/1–12/19.
- [7] Marinescu, I.; Dontu, G.; Bordeianu, E.: High efficiency superfinishing of bearing rings with CBN. In: Technical Papers of NAMRI/SME (1998), S. 27–32.
- [8] Joliet, R.; Kansteiner, M.; Kersting, P. A process Model for Force-controlled Honing Simulations. In: Procedia CIRP 28 (2015), DOI: 10.1016/j.procir.2015.04.009. S. 46–51.
- [9] Azarhoushang, B.; Marinescu, I.D.; Rowe, W.B.; Dimitrov B.; Ohmori, H.: Tribology and Fundamentals of Abrasive Machining Processes. Third Edition: William Andrew Publishing, 2022. DOI: 10.1016/B978-0-12-823777-9.00012-4.
- [10] Klink, U.; Dellin, M.; Kraushaar, S. Honen – Umweltbewusst und kostengünstig fertigen. Munich, Germany: Carl Hanser Verlag GmbH Co. KG, 2022, ISBN: 978-3-446-47007-1.
- [11] Karpuschewski, B.; Goldau, H.; Stolze, R. Process force and technology model for designing and controlling finishing operations with rotating grinding tools. In: CIRP Annals 63 (2014) 1. DOI: 10.1016/j.cirp.2014.03.028. S. 337–340



**Dipl. -Ing. Meik Tilger**  
Foto: ISF



**Prof. Dr. -Ing. Prof h.c. Dirk Biermann**  
Foto: ISF

Technische Universität Dortmund  
Institut für Spanende Fertigung ISF  
Baroper Str. 303, 44227 Dortmund  
Tel. +49 231 / 755 2784  
meik.tilger@tu-dortmund.de  
www.isf.de

### LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)