Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen wissenschaftlich begutachteten und freigegebenen Fachaufsatz („reviewed paper“).

doi.org/10.37544/1436-4980-2024-07-08-28

Einfluss des Abrichtprozesses auf das Schleifverhalten beim Doppelseitenplanschleifen

Abrichten beim Doppelseitenplanschleifen

E. Uhlmann, A. Muthulingam

ZUSAMMENFASSUNG Der Abrichtprozess ist beim Schleifen ein entscheidender Faktor für das Prozessverhalten und die erzielbare Oberflächenqualität der Werkstücke. Aufgrund unzureichender Kenntnisse über die wirkenden Zusammenhänge zwischen den Abrichtprozessstellgrößen und dem nachfolgenden Schleifprozess erfolgt dieser Prozessschritt beim Doppelseitenplanschleifen erfahrungsbasiert. Umfangreiche Abrichtuntersuchungen sollen hierbei Aufschluss über die Wirkzusammenhänge geben.

STICHWÖRTER

Fertigungstechnik, Schleifen, Abrichten

Influence of the dressing process on the grinding behavior in double face grinding – Dressing during double face grinding

ABSTRACT The dressing process is a decisive factor for the process behavior and the achievable surface quality of the workpieces during grinding. Due to insufficient knowledge about the relationships between the dressing variables and the subsequent grinding process, this process step in double face grinding is based on experience. Extensive dressing process investigations intend to provide information about the causal relationships.

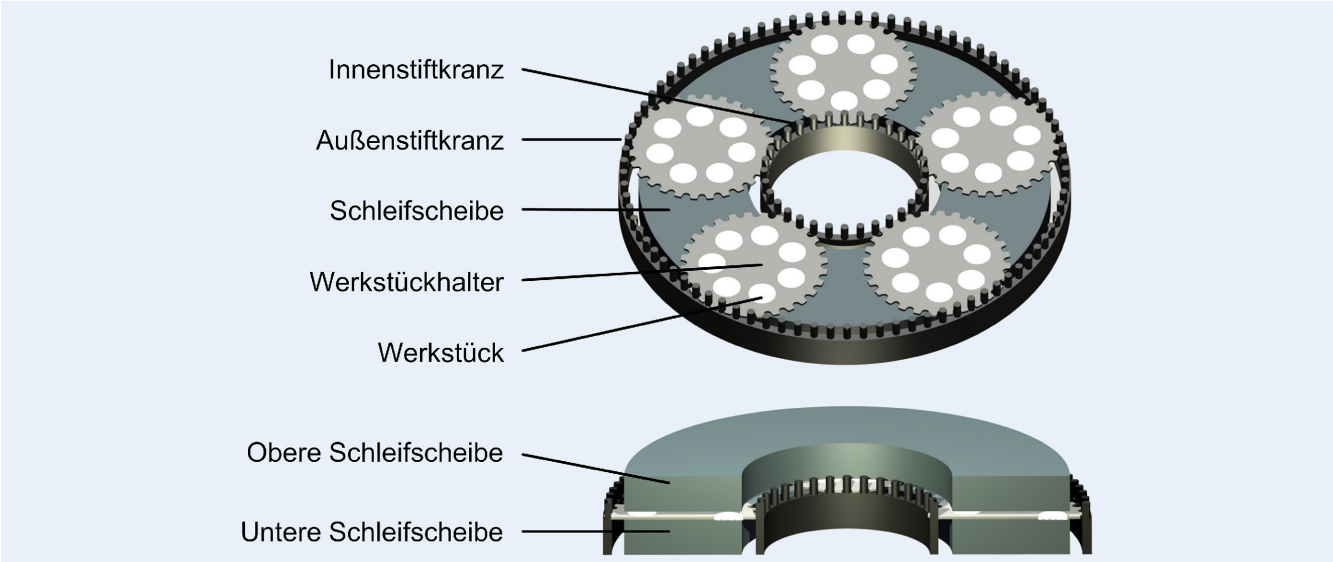

Bild 1. Hauptkomponenten beim DPMP [1]. *Grafik: Fraunhofer IPK*

1 Einleitung

Das Doppelseitenplanschleifen mit Planetenkinematik (DPMP) ist ein Fertigungsverfahren zur Bearbeitung planparaller Flächen. Anwendung findet es in der Fertigung von metallischen Werkstücken, wie Lagerringen und Wendeschneidplatten, keramischen Werkstücken, wie Dicht- und Regelscheiben für Mischbatterien und Armaturen sowie Elementen optischer Systeme [1–3]. Mit diesem Fertigungsverfahren lassen sich Rauheitswerte bis in den Submikrometerbereich sowie sehr geringe Ebenheitswerte auf der Werkstückoberfläche erzielen [1, 4, 5]. Der Maschinenaufbau besteht aus zwei horizontal angeordneten Schleifscheiben, zwischen denen die Werkstücke ungespannt in außenverzahnte Werkstückhalter eingelegt werden, **Bild 1**. Die Werkstückhalter werden von einem angetriebenen Innenstiftkranz und einen meist feststehenden Außenstiftkranz geführt. Unter Einsatz von Kühlschmierstoff werden die Werkstücke unter stetigem, flächenhaftem und doppelseitigem Kontakt an der Ober-

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-07-08-28, am 26.12.2024, 06:59:43
Open Access – (cc) BY – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

und Unterseite bearbeitet. Die Werkstücke werden während des Prozesses auf zykloiden Bahnformen, die durch die Überlagerung von drei Rotationsbewegungen entstehen, über die Schleifscheibenoberflächen bewegt. Zu diesen Rotationsbewegungen zählen die Drehungen der Schleifscheiben, des Innenstiftkranzes sowie die daraus resultierende Drehung der Werkstückhalter [5–7]. Die Kinematik ähnelt der eines Planetengetriebes, woraus sich auch die Bezeichnung des Verfahrens ableitet. Durch den flächenhaften Eingriff der Schleifscheiben werden die Flächen eines Werkstücks gleichmäßig belastet. Die geschliffenen Werkstückoberflächen sind meist durch ungerichtete, sich kreuzende Bearbeitungsspuren charakterisiert [1, 5, 8].

Die aus der verfahrenstypischen Kinematik entstehende Relativbewegung zwischen den Werkstücken und Schleifscheiben resultiert in unterschiedlichen Schnittgeschwindigkeiten vs im Innen- und Außenbereich der Schleifbeläge. Weiterhin legen die Werkstücke im Innen- und Außenbereich der Schleifbelagsoberfläche unterschiedliche Weglängen zurück. Diese Kombination aus radialabhängiger Schnittgeschwindigkeit vs und Kontaktlänge der Werkstücke mit der Schleifscheibe bewirkt einen inhomogenen Verschleiß der Schleifscheibe. Rückgekoppelt folgen für die Kontaktzone zwischen den Werkstücken und Schleifwerkzeug heterogene Zerspanbedingungen [1, 5, 8]. Daraus resultiert eine Vielzahl möglicher Verschleißformen. Als Konsequenz des fortschreitenden Profilverschleißes verringert sich die erreichbare Qualität am Bauteil. Daher ergibt sich die Notwendigkeit, die Schleifscheiben in regelmäßigen Abständen abzurichten, um die Schleifscheibenform und Schnittfähigkeit wiederherzustellen. Der Abrichtprozess ist beim Schleifen ein entscheidender Faktor für das Prozessverhalten und die erzielbare Oberflächenqualität der Werkstücke. Daher erfordert dieser eine zielgerichtete Auslegung, um dem Profilverschleiß entgegenzuwirken. Im Gegensatz zu anderen Schleifverfahren liegen beim DPMP bisher unzureichende systematische Untersuchungen zum Abrichten und dessen Einflüsse auf das Arbeitsergebnis vor, sodass die Auslegung auf dem Erfahrungswissen der Anwender basiert. Bisherige Untersuchungen zum Abrichten beim DPMP beschränken sich auf die Analyse verschiedener Abrichtstrategien auf das Einsatzverhalten der Schleifscheiben.

Funck [9] verwendete getrennte Profilier- und Schärfprozesse zur Einsatzvorbereitung. Nach dem Profilieren mit Ein- oder Mehrkornabrichtern setzte er zum Schärfen Scheiben aus Siliciumcarbid (SiC) mit denselben geometrischen Maßen wie die zu bearbeitenden Werkstücke ein. In kürzester Bearbeitungszeit stellte sich in den folgenden Fertigungsprozessen eine niedrige, aber konstante Abtrennrate Δh_w ein. Er kam zu dem Schluss, dass sich das Prozessverhalten nicht durch die Abrichtparameter hinsichtlich eines stationären Zerspanverhaltens auf hohem Niveau optimieren lässt. Unabhängig davon ist die Profilierstrategie mit Ein- und Mehrkornabrichtern auf heutigen hochharten Schleifscheiben nicht wirtschaftlich einsetzbar.

Ardelt [5] und *Uhlmann et al.* [10] setzten in ihren Untersuchungen zum Einfluss der Bahnform auf das Prozessverhalten und die erzielbaren Arbeitsergebnisse ebenfalls getrennte Profilier- und Schärfprozesse ein. Das Profilieren erfolgte dabei durch den Einsatz von Baustahl, welcher anstatt der zu bearbeitenden Keramikbauteile in die Werkstückhalter eingesetzt wurde. Größere Unebenheiten der Schleifscheibenoberfläche profilierten sie mit SiC-Abrichtringen mit einer Korngröße von 80 Mesh. Ein reproduzierbares Schärfen gelang ebenfalls mit diesen Abrichtringen bei konstanten Schärfparametern. Eine Aussage über einzelne Einflussgrößen ist auf Grundlage der Veröffentlichungen jedoch nicht möglich.

In den Untersuchungen von *Egger* [8] zu den Wirkmechanismen zwischen Werkstück und Werkzeug erfolgte das Profilieren und Schärfen kombiniert in je einem Abrichtprozess mit gebundenem und ungebundenem Korn. Die verwendeten Schleifscheiben mit einer Spezifikation von D91 C100 in einer Keramikbindung wurden dabei in der ungebundenen Ausführung mit einer Suspension aus Kühlschmierstoff (KSS), Borcarbid- und SiC-Körnern der Größe 80 Mesh sowie einer Stahlscheibe als Gegenstück abgerichtet. Das Abrichten mit keramisch gebundenen SiCKörnern der Spezifikationen 57 C80 Q2 V53 und 31 C120 I8 V500 in Abrichtringen wies eine deutlich höhere Abtrennraten Δh_w in den nachfolgenden Schleifprozessen auf. Im Direktvergleich führte die Abrichterspezifikation 31 C120 I8 V500 zur höchsten Abtrennrate Δh_w und dem besten Schleifkraftverhältnis μ bei der anschließenden Werkstückbearbeitung. Das kombinierte Profilieren und Schärfen mit galvanisch einschichtig gebundenen Diamantabrichtern mit einer Korngröße von D91 führte ebenfalls zu einer reduzierten Abtrennrate Δh_w bei der nachfolgenden Zerspanung. Als Ursache konnte identifiziert werden, dass die gebundenen Diamantkörner nicht in der Lage sind, die Bindung der Schleifscheibe ausreichend zurückzusetzen. Weiterhin kommt es durch den Kontakt der Abrichtdiamantkörnern mit den Schleifdiamantkörnern zu einem erhöhten Verschleiß der Abrichtwerkzeuge.

Rußner [7] verwendete in der Arbeitsvorbereitung der Schleifscheiben ebenfalls SiC-Abrichtringe zum Profilieren. Das anschließende Schärfen erfolgte mit Korundabrichtern mit der Korngröße von 80 Mesh für die untersuchten Schleifscheiben. Da hier keine Parametervariation stattfand, können keine Rückschlüsse auf einzelne Einflussgrößen gezogen werden.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass keine gesicherten Erkenntnisse zu den Einflussgrößen und den Wirkmechanismen zwischen Abrichterkorngröße d_{ka}, Schleifscheibenkorngröße d_k und Schleifscheibenkornkonzentration C vorliegen. Am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb IWF der Technischen Universität Berlin wurden daher technologischen Untersuchungen durchgeführt, um zunächst die Haupteinflussfaktoren beim Abrichten zu identifizieren. Für die Analyse wurde eine kunstharzgebundene CBN-Schleifscheibe mit einer mittleren Korngröße von d_k = 107 µm und einer Kornkonzentration von C75 eingesetzt. Das Abrichten beim DPMP erfolgt mit derselben Kinematik wie die Bearbeitung von Werkstücken. Daher wurden als mögliche Einflussfaktoren die Drehzahl der Schleifscheiben n_s, das Drehzahlverhältnis n_{Id}, der Kühlschmierstoffvolumenstrom $\dot{V}_{kss}$, die Prozesskraft F_p, die zerspante Abrichterhöhe Δh_d und die Abrichterkorngröße d_{ka} untersucht. Zur Ermittlung der Haupteinflussfaktoren wurden zum einen die schleifscheibencharakterisierenden Kenngrößen, Kernhöhe Sk, reduzierte Spitzenhöhe Spk, reduzierte Talhöhe Svk und statische Schneidenzahl N_{stat}, und zum anderen die werkstückcharakterisierenden Kenngrößen, arithmetischer Mittelwert der Höhe Ra und maximale Höhe Rz, herangezogen und mittels stochastischer Analysemethoden hinsichtlich ihrer Signifikanz bewertet. Aus der durchgeführten Analyse kann gefolgert werden, dass die Abrichterkorngöße d_{ka} und die zerspante Abrichterhöhe Δh_d signifikant den Abrichtprozess beim DPMP beeinflussen [11]. Die technologischen Untersuchungen wurden für die ermittelten signifikanten Parameter erweitert, um

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-07-08-28, am 26.12.2024, 06:59:43
Open Access – (cc) BY – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

Tabelle 1. Signifikante Einflussfaktoren und Werte der vollfaktoriellen Versuche zum Abrichten.

Faktor	Einheit	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4
Drehzahlverhältnis n_{ld}	-	-0,75	-0,5	0,5	0,75
Zerspante Abrichterhöhe Δh_d	µm	500	1250	2000	-
Abrichterkorngröße d_{ka}	µm	69	109	154	-

deren Einflüsse auf den Abrichtprozess sowie auf den anschließenden Schleifprozess zu bestimmen. Die Ergebnisse werden in diesem Beitrag vorgestellt.

2 Technologische Untersuchungen

Die technologischen Untersuchungen wurden für die identifizierten signifikanten Einflussfaktoren Abrichterkorngöße d_{ka} und zerspante Abrichterhöhe Δh_d erweitert, um den Einfluss dieser Prozessstellgrößen auf den Abrichtprozess eindeutig zu beschreiben. Die Einflussfaktoren wurden dabei dreistufig variiert, **Tabelle 1**. Bisherige Veröffentlichungen zeigen, dass die kinematischen Prozessparameter maßgeblich den Profilverschleiß und den Profilierprozess beeinflussen [1, 12, 13]. Aus diesem Grund wurde im erweiterten Versuchsplan zusätzlich der Einfluss der Stellgröße Drehzahlverhältnis n_{ld} untersucht. Verfahrensbedingt bestimmt dieser Parameter die Kontakthäufigkeit der Werkstücke mit den einzelnen Bereichen der Schleifscheibe und die dortigen Schnittgeschwindigkeit v_s. Einerseits ist dies die Ursache für den Profilverschleiß der Schleifscheiben, andererseits kann damit eine gezielt höhere Beanspruchung der Profilspitzen des Schleifbelages während des Abrichtens erreicht werden. Dies kann bei einem vorhandenen Profilverschleiß zu einer Einebnung und damit Wiederherstellung einer ebenen Schleifscheibe führen. Das Drehzahlverhältnis wurde hierbei vierstufig zwischen n_{ld} = -0,75 und n_{ld} = 0,75 variiert. Damit bewegen sich die Werkstücke auf einer gestreckten Epizykloiden Bahnform. Zur eindeutigen Charakterisierung der Einflussfaktoren wurde der Versuchsplan vollfaktoriell durchgeführt. Die Schleifscheibendrehzahl, der Kühlschmierstoffvolumenstrom und die Anpresskraft wurden mit n_s = 60 1/min, $\dot{V}_{kss}$ = 50 l/min und F_p = 90 daN konstant gehalten.

Die Versuche wurden auf dem Maschinensystem „DLM 505 HS“ der Firma Stähli Läpp Technik AG in der Schweiz durchgeführt. Als Werkzeuge kamen kunstharzgebundene Schleifscheiben mit der Belagsspezifikation B107 C75 der Firma Diamant-Gesellschaft Tesch GmbH, Ludwigsburg, zum Einsatz. Die drei verschiedene Aluminiumoxid-Abrichtringe vom Typ Edelkorund rosa wurden ebenfalls von der Firma Diamant-Gesellschaft Tesch GmbH bezogen, die sich hinsichtlich der verwendeten Korngröße unterschieden. Sowohl die Schleif- als auch die Abrichtprozesse erfolgten unter Einsatz des Schleiföls DP5 der Firma Rhenus Lub GmbH. Um den Einfluss der zu untersuchenden Parameter bewerten zu können, muss die Schleifscheibe vor jedem Versuch in einen definierten Ausgangszustand versetzt werden. Dazu wurde ein Standardschleifprozess definiert, bei dem der Schleifscheibenbelag möglichst schnell abstumpft. Der Standardschleifprozess wurde mit zylindrischen Versuchswerkstücken aus durchgehärteten Wälzlagerstahl 100Cr6 mit einer Härte von 60 HRC bei einer Werkzeugbelegung von B = 11,53 % durchgeführt. Hierzu wurden jeweils vier Werkstücke in vier Läuferscheiben eingesetzt. Die Versuchsrandbedingungen und Prozessparameter des Standardschleifprozesses sind in **Tabelle 2** zusammengefasst. Um einen definierten Ausgangszustand zu erzeugen, wurde zusätzlich ein Abstumpfungskriterium mithilfe der Abtrennrate $\Delta\dot{h}_w$ definiert, das mit $\Delta\dot{h}_w \leq 0{,}1$ µm/s festgelegt wurde. Nach Erreichen des Abstumpfungskriteriums erfolgte das Abrichten entsprechend der Versuchsplanung und die Ermittlung der Schleifscheibentopographiekennwerte. Anschließend erfolgte das Schleifen mit dem Standardschleifprozess, um das Einsatzverhalten der abgerichteten Schleifscheiben zu bewerten sowie um einen definierten Ausgangszustand der Schleifscheiben zu erzeugen. Dazu wurden nach Δh_w = 500 µm zerspanter Werkstückhöhe die Oberflächenkennwerte auf der Ober- und Unterseite der Versuchswerkstücke bestimmt. Zudem wurde die Ebenheitsabweichung e_0 der Werkstücke ermittelt, um Rückschlüsse auf den Profiverschleiß nach dem Abrichten zu ziehen. Sowohl für die Werkstückoberseite als auch für die Werkstückunterseite resultiert ein stärkerer Profilverschleiß in verminderter Werkstückebenheit. Des Weiteren wurde die prozesscharakterisierende Kenngröße Abtrennrate $\Delta\dot{h}_w$ erfasst. Aufgrund der kraftgeregelten Prozessführung beim DPMP kann hier die Abtrennrate $\Delta\dot{h}_w$, die zeitbezogene Werkstückhöhenreduktion, als Bewertungsgröße der Schneidfähigkeit der Schleifscheiben dienen. Eine hohe Abtrennrate $\Delta\dot{h}_w$ zeugt von einer effektiven Zerspanung mit einer schnittfreudigen Schleifscheibe. **Bild 2** verdeutlicht den Versuchsablauf. Um die Einflüsse der untersuchten Parameter zu bewerten, werden die Mittelwerte der Zielgrößen miteinander verglichen.

3 Auswirkung der Haupteinflussfaktoren auf die Schleifscheibentopographie und das Schleifverhalten

Der Einfluss der Abrichterkorngröße d_{ka} auf die ermittelten Zielgrößen ist in **Bild 3** dargestellt. Die Analyse der Topographiekennwerte nach dem Abrichtprozess zeigt, dass eine Erhöhung der Abrichterkorngröße d_{ka} zu einer Verkleinerung der reduzierten Spitzenhöhe Spk und zu einer Vergrößerung der reduzierten Talhöhe Svk führt, siehe Bild 3a. Diese Zusammenhänge lassen sich sowohl für die obere als auch für die untere Schleifscheibe beobachten. Eine Ausnahme ergibt sich jedoch bei der Erhöhung der Abrichterkorngröße von d_{ka} = 109 µm auf d_{ka} = 154 µm. Hier erhört sich die reduzierte Spitzenhöhe Spk auf der oberen Schleifscheibe um etwa 6 % von Spk = 19,12 µm auf Spk = 20,23 µm. Die Schleifbelagsbeschaffenheit der beiden Schleifscheiben unterscheidet sich hauptsächlich in der reduzierten Spitzenhöhe Spk. Dabei sind die Werte auf der oberen Schleifscheibe tendenziell höher. Die reduzierte Talhöhe Svk ist auf beiden Schleifscheiben nahezu identisch. Die größten Änderungen in den Topographiekennwerten ergeben sich bei einer Vergrößerung der Abrichterkorngröße von d_{ka} = 69 µm auf

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-07-08-28, am 26.12.2024, 06:59:43
Open Access – CC BY – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

Tabelle 2. Versuchsrandbedingungen und Prozessparameter des Standardschleifprozesses.

Versuchsrandbedingungen		
Schleifmaschine	Stähli DLM 505 HS	
Schleifscheibenspezifikation	B107 C75	
Abrichterspezifikation	Edelkorund rosa	
Werkstücke	100Cr6, 60 HRC	
Schleiföl	DP5	
Prozessparameter des Standardschleifprozesses		
Prozessparameter	**Einheit**	**Wert**
Drehzahl der unteren Schleifscheibe n_u	1/min	125
Drehzahl der oberen Schleifscheibe n_o	1/min	-150
Drehzahlverhältnis n_i	-	0,504
Prozesskraft F_p	N	2500
Belegung B	%	11,53
Kühlschmierstoffvolumenstrom $\dot{V}_{kss}$	l/min	50
Kühlschmierstofftemperatur T_{kss}	°C	19
Abgetrennte Materialhöhe h	µm	500

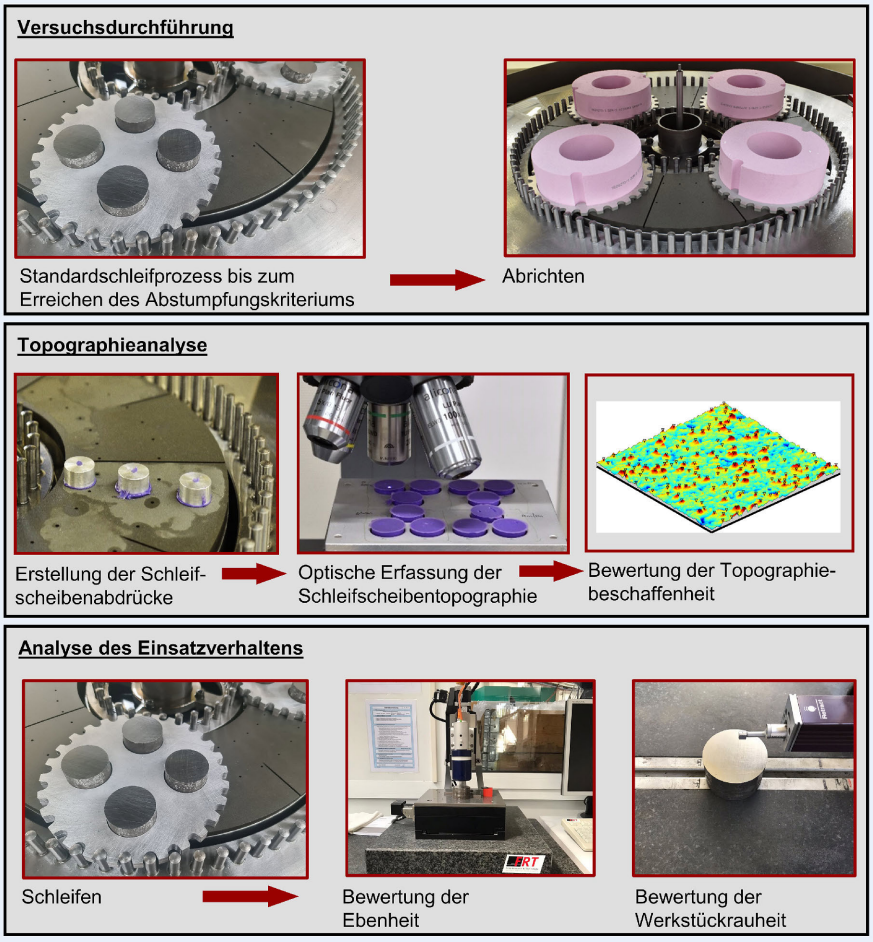

Bild 2. Vorgehen zur Bewertung des Abrichtprozesses beim DPMP. *Grafik: Fraunhofer IPK*

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-07-08-28, am 26.12.2024, 06:59:43
Open Access – CC BY – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

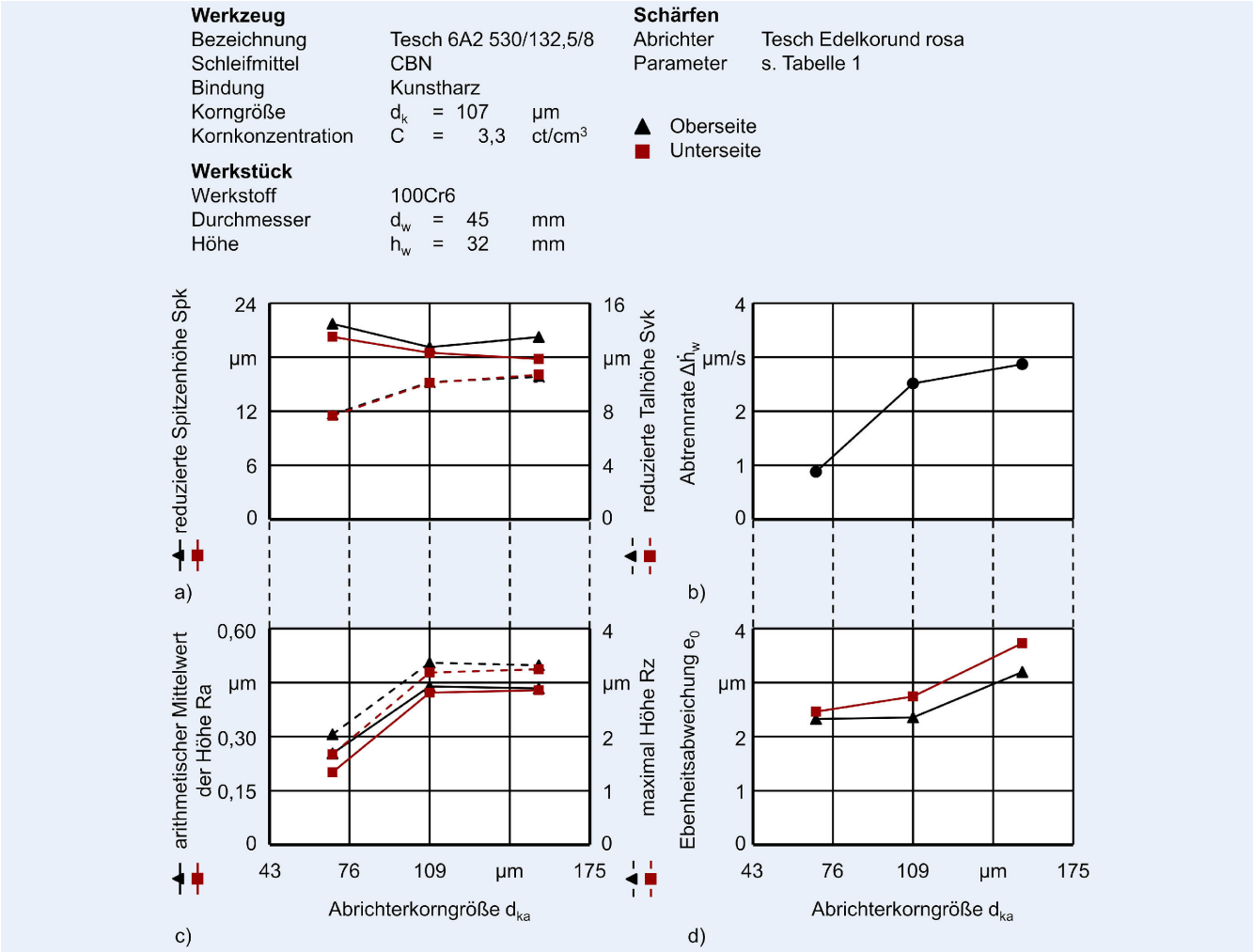

Bild 3. Einfluss der Abrichterkorngröße d_{ka} auf den Abrichtprozess beim DPMP, a) Schleifscheibentopographie, b) Abtrennrate Δh_w, c) Werkstückrauheit, d) Ebenheitsabweichung e_0. *Grafik: Fraunhofer IPK*

d_{ka} = 109 µm. Dabei reduziert sich der Spk-Wert an der oberen Schleifscheibe um 12 % von Spk = 21,69 µm auf Spk = 19,12 µm und an der unteren Schleifscheibe um 9 % von Spk = 20,26 µm auf Spk = 18,48 µm. Der Svk-Wert erhöht sich auf beiden Schleifscheiben um etwa 30 %. Zudem werden beim Abrichten mit einer Abrichterkorngröße von d_{ka} = 109 µm nahezu ähnliche Schleifbelagstopographien auf der oberen und unteren Schleifscheibe erzeugt. Der Unterschied in der reduzierten Spitzenhöhe Spk beträgt hier weniger als 4 %. Nach DIN EN ISO 251782 [14] beschreibt die reduzierte Spitzenhöhe Spk die mittlere Höhe der hervorstehenden Spitzen oberhalb des Kernes der Oberfläche und die reduzierte Talhöhe Svk die mittlere Höhe der hervorstehenden Täler unterhalb des Kerns der Oberfläche. Somit legen die Änderungen der Topographiekennwerte zunächst die Vermutung nahe, dass die Schleifbelagstopographie nach dem Abrichten mit feinerem Abrichtkorn durch stärker hervorstehende Körner gekennzeichnet ist.

Die Betrachtung der prozesscharakterisierenden Kenngröße verdeutlicht, dass das Abrichten mit größerer Abrichterkorngröße d_{ka} zu einer Erhöhung der Abtrennrate $\Delta\dot{h}_w$ im anschließenden Schleifprozess führt, Bild 3b. Bei einer Vergrößerung der Abrichterkorngröße von d_{ka} = 69 µm auf d_{ka} = 109 µm ist die größte Änderung zu verzeichnen. Die Abtrennrate steigt hierbei um 186 % von $\Delta\dot{h}_w$ = 0,88 µm/s auf $\Delta\dot{h}_w$ = 2,51 µm/s. Bei einer weiteren Vergrößerung der Abrichterkorngröße von d_{ka} = 109 µm auf d_{ka} = 154 µm steigt die Abtrennrate um 14 % auf Δh_w = 2,87 µm/s. Eine Steigerung der Abtrennrate resultiert aus einer raueren Schleifbelagstopographie mit herausstehenden Schneidkörnern und ausreichendem Spanraum. Aus der Betrachtung der Abtrennrate $\Delta\dot{h}_w$ lässt sich somit schließen, dass größere Abrichterkorngrößen d_{ka} zu einer raueren Schleifscheibentopographie führen. Mit den erzielten Ergebnissen kann festgestellt werden, dass nach dem Abrichten eine negative Korrelation zwischen der Abtrennrate $\Delta\dot{h}_w$ und der reduzierten Spitzenhöhe Spk vorliegt. Diese Korrelation verdeutlicht, dass eine hohe reduzierte Spitzenhöhe Spk nicht zwangsläufig mit einer rauen Schleifscheibentopographie einhergeht. Somit können anhand einzelner Topographiekennwerte keine zuverlässigen Vorhersagen über die Schärfe und damit verbunden über das Einsatzverhalten der Schleifscheibe getroffen werden. Mögliche Ursachen für die beobachteten Zusammenhänge lassen sich anhand der Wirkmechanismen zum Zurücksetzen der Schleifscheibenbindung beschrieben. Die Zurücksetzung der Schleifscheibenbindung erfolgt durch die im Prozess entstehende Suspension, auch Slurry genannt, die sich aus dem Kühlschmierstoff und den aufgesplitterten Korundkörnern der Abrichtringe zusammensetzt. Eine zu klein gewählte

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-07-08-28, am 26.12.2024, 06:59:43
Open Access – (cc) BY – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

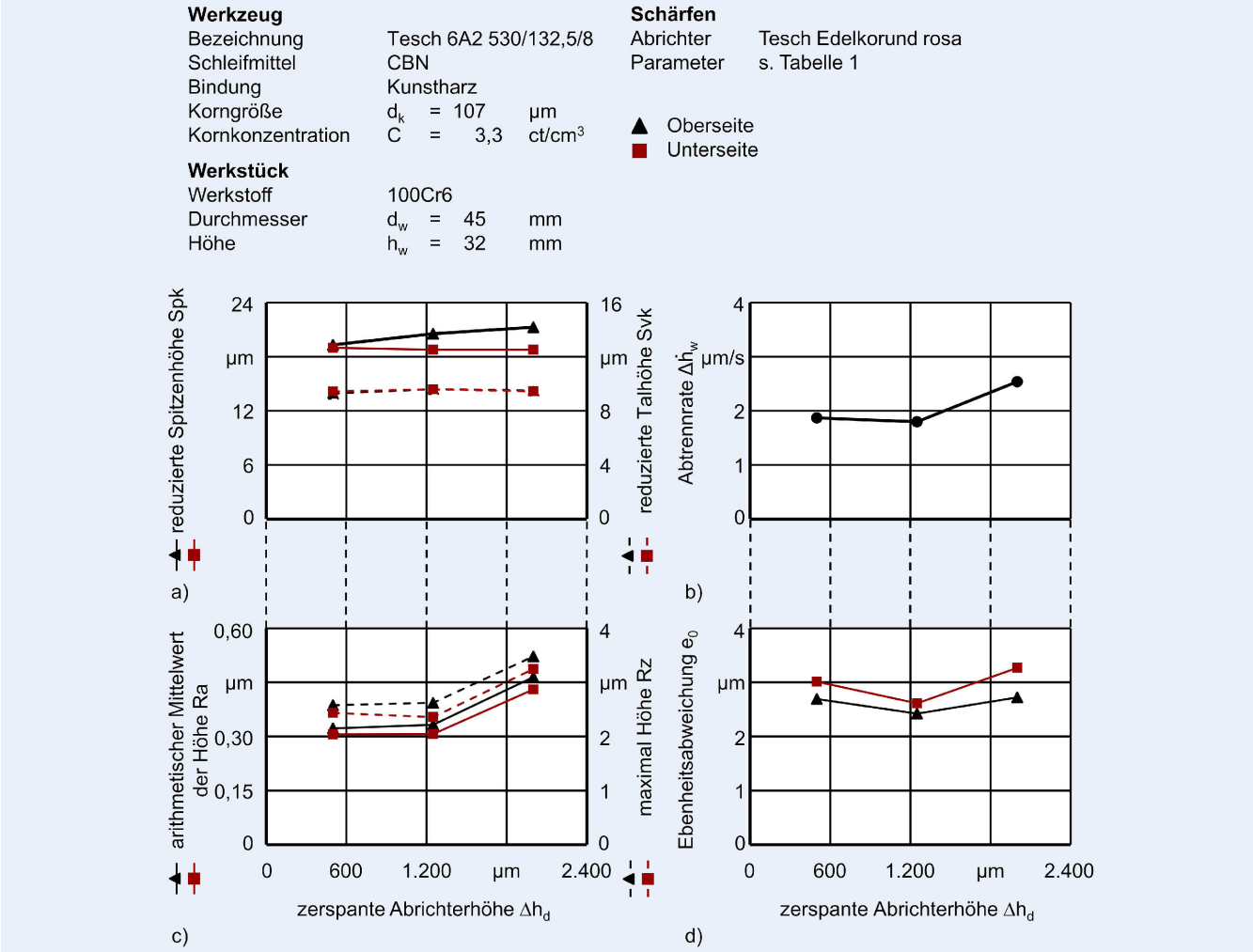

Bild 4. Einfluss der zerspanten Abrichterhöhe Δh_d auf den Abrichtprozess beim DPMP, a) Schleifscheiben-topographie, b) Abtrennrate Δh_w, c) Werkstückrauheit, d) Ebenheitsabweichung e_0. *Grafik: Fraunhofer IPK*

Abrichterkorngröße d_{ka} führt zu einer Zusetzung des Spanraums und hindert damit den eigentlichen Abrichtprozess. Durch die Zusetzung werden die vorhandenen Poren geschlossen, die sich in einem deutlichen Abfall der reduzierten Talhöhe Svk widerspiegelt. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse, dass die Änderung der Abtrennrate $\Delta\dot{h}_w$ mit zunehmender Abrichterkorngrößen d_{ka} abnimmt. Damit kann angenommen werden, dass sich das Verhalten bei zu groben Abrichterkorngrößen d_{ka} aufgrund von Kornausbrüchen umkehrt.

Bild 3c und Bild 3d verdeutlichen den Einfluss der Abrichterkorngröße d_{ka} auf die werkstückcharakterisierenden Kenngrößen bei einem anschließenden Einsatz der abgerichteten Schleifscheiben. Für die betrachteten Faktorstufen führt das Abrichten mit der kleineren Abrichterkorngröße d_{ka} = 69 µm zu einer geringeren Rauheit auf der Werkstückoberfläche. Daraus lässt sich folgern, dass nach dem Abrichten mit der kleineren Abrichterkorngröße d_{ka} = 69 µm eine Schleifscheibentopographie mit eingebetteten Schleifkörnern vorliegt. Die Werkstückrauheit nimmt bei einer Vergrößerung der Abrichterkorngröße von d_{ka} = 69 µm auf d_{ka} = 109 µm zu. An der Werkstückoberseite liegt eine Zunahme von sowohl des arithmetischen Mittelwerts der Höhe Ra um 74 % als auch der maximalen Höhe Rz um 65 % vor. An der Werkstückunterseite beträgt die Zunahme des arithmetischen Mittelwerts der Höhe Ra 110 % und der maximalen Höhe Rz 90 %. Eine weitere Vergrößerung der Abrichterkorngröße d_{ka} wirkt sich nur geringfügig auf die Änderung der Werkstückrauheit aus. Die Ebenheitsabweichung e_0 ist beim Abrichten mit d_{ka} = 69 µm und d_{ka} = 109 µm auf einem ähnlichen Niveau, wobei auf der Werkstückunterseite eine höhere Ebenheitsabweichung e_0 vorliegt. Bei einer Vergrößerung der Abrichterkorngröße von d_{ka} = 109 µm auf d_{ka} = 154 µm steigt der Wert um etwa 35 % auf beiden Werkstückseiten an. Damit kann gefolgert werden, dass das Abrichten mit einer Abrichterkorngröße von d_{ka} = 154 µm zu einer Veränderung der Makrogeometrie führt, das heißt zum Profilverschleiß, und damit den Schleifprozess negativ beeinflusst.

Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass größere Abrichterkorngrößen d_{ka} zu einer raueren Schleifscheibentopographie führen, die den Schleifprozess begünstigen. Gleichzeitig geht hervor, dass eine zu grob gewählte Abrichterkorngröße d_{ka} zu einem erhöhten Makroverschleiß der Schleifscheiben führt und damit die Werkstückqualität negativ beeinflusst. Als ideale Abrichterkorngröße konnte d_{ka} = 109 µm identifiziert werden, die in etwa dem mittleren Durchmesser der Schleifscheibenkörnung von d_k = 107 µm entspricht. Beim DPMP kann damit angenommen werden, dass zum Abrichten die Abrichterkorngröße d_{ka} den

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-07-08-28, am 26.12.2024, 06:59:43
Open Access – (cc) BY – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

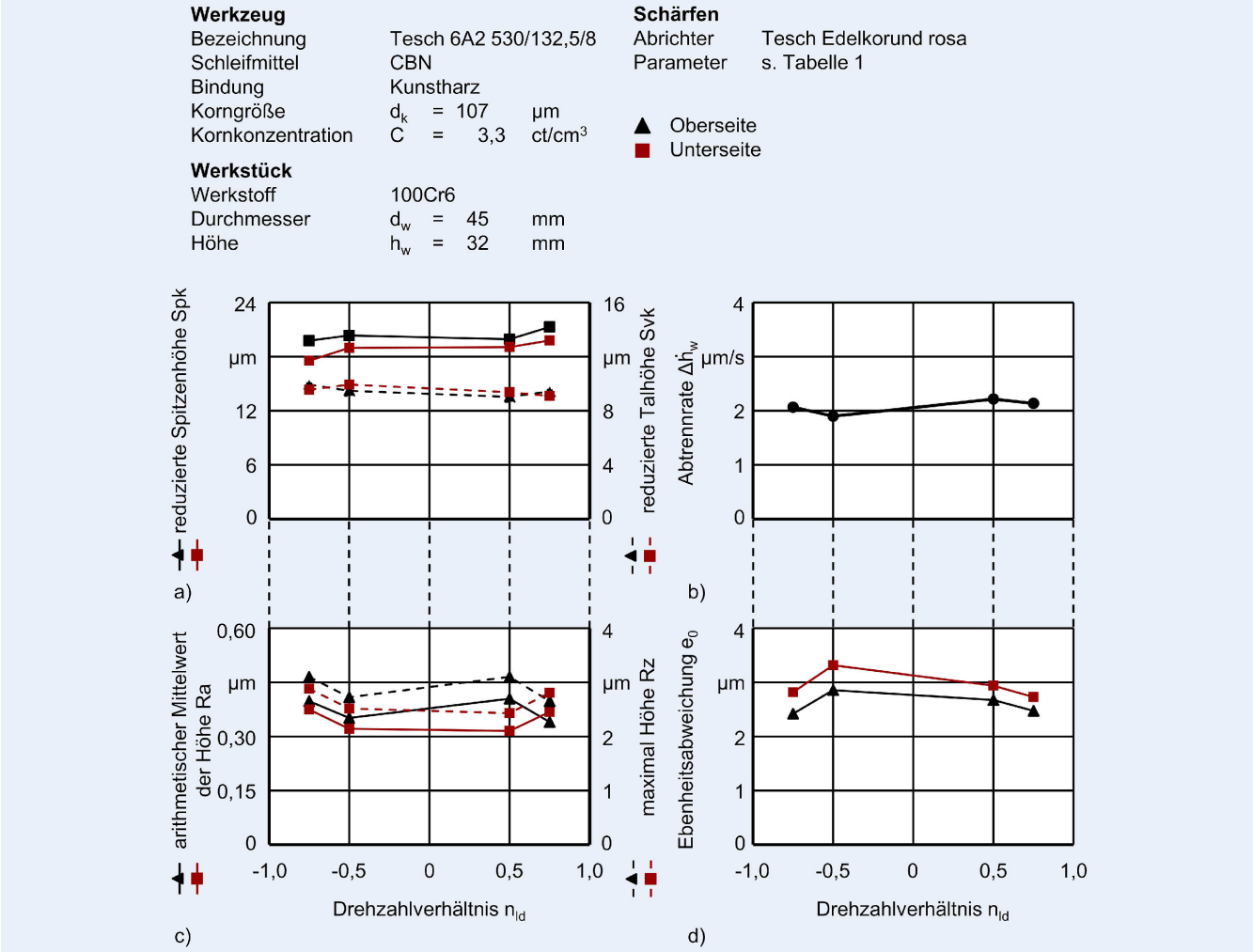

Bild 5. Einfluss des Drehzahlverhältnisses n_l auf den Abrichtprozess beim DPMP, a) Schleifscheiben-topographie, b) Abtrennrate Δh_w, c) Werkstückrauheit, d) Ebenheitsabweichung e_0. *Grafik: Fraunhofer IPK*

mittleren Durchmesser der Schleifscheibenkörnung nicht überschreiten sollte.

Bild 4 verdeutlicht den Einfluss der zerspanten Abrichterhöhe Δh_d auf den Abrichtprozess beim DPMP. Aus der Darstellung wird deutlich, dass eine Erhöhung der zerspanten Abrichterhöhe Δh_d zu einer geringfügigen Änderung der reduzierten Spitzenhöhen Spk der oberen Schleifscheibe führt, Bild 4a. Dabei steigt der Spk-Wert mit zunehmender zerspanten Abrichthöhe Δh_d. Die Änderungen liegen jedoch unter 6 %. Eine Änderung der Topographiekennwerte in Abhängigkeit der zerspanten Abrichterhöhe Δh_d ist für die untere Schleifscheibe nicht zu erkennen. Trotz der geringfügigen Änderungen in den Topographiekennwerten führt die Erhöhung der zerspanten Abrichterhöhe von $\Delta h_d = 1250$ µm auf $\Delta h_d = 2000$ µm zu einer Erhöhung der Abtrennrate um circa 40 %, Bild 4b. Die Steigerung ist auf stark exponierte Schneiden zurückzuführen, die gleichzeitig zu einem Anstieg der Oberflächenrauheit der geschliffenen Bauteile führen. Dies wird auch durch die Betrachtung des arithmetischen Mittelwerts der Höhe Ra und der maximalen Höhe Rz deutlich, die ebenfalls an dieser Stelle um circa 40 % ansteigen, Bild 4c. Die Betrachtung der Ebenheitsabweichung e_0 zeigt, dass der Ebenheitsfehler sowohl auf der Werkstückoberseite als auch der Werkstückunterseite zunächst abnimmt und anschließend bei einer Erhöhung der zerspanten Abrichterhöhe von $\Delta h_d = 1250$ µm auf $\Delta h_d = 2000$ µm zunimmt, Bild 4d. Die Zunahme ist auf einen verstärkten Makroverschleiß der Schleifscheiben zurückzuführen. Eine mögliche Erklärung liegt in der veränderten Zusammensetzung des Slurrys. Durch den längeren Kontakt der Abrichtringe mit der Schleifscheibe steigt die Korndichte innerhalb des Slurrys an, was zu einer stärkeren Zurücksetzung der Schleifscheibenbindung führt und gleichzeitig eine Änderung der Makrostruktur hervorruft.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass sich eine hohe zerspante Abrichterhöhe positiv auf die Schärfe der Schleifscheiben und damit auf die Abtrennrate im anschließenden Schleifprozess auswirkt. Allerdings sollte die zerspante Abrichterhöhe in Abhängigkeit vom vorliegenden Profilverschleiß gewählt werden. Ein größeres zerspantes Aufmaß und damit ein längerer Abrichtprozess führt zu einer stärkeren Veränderung des Schleifscheibenprofils, die in einem verstärkten Makroverschleiß resultieren kann. Daher sollte die zu zerspanende Abrichterhöhe dem vorhandenen Profilverschleiß entsprechen, um einen ebenen Zustand zu erreichen.

Der Einfluss des Drehzahlverhältnisses n_{ld} ist im Vergleich zu den anderen beiden Einflussfaktoren gering, **Bild 5**. Die Betrachtung der gemittelten Zielgrößen in Abhängigkeit des Drehzahlverhältnisses n_{ld} zeigt, dass das Abrichten mit einem Drehzahlver-

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-07-08-28, am 26.12.2024, 06:59:43
Open Access – CC BY – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

hältnis von n_{ld} = -0,75 zu einer rauen Schleifscheibentopographie führt. Diese spiegelt sich in einer rauen Werkstückoberfläche wieder und resultiert in einer vergleichsweise geringen Ebenheitsabweichung e_0. Das Abrichten mit einem Drehzahlverhältnis von n_{ld} = -0,5 führt zu einer hohen Ebenheitsabweichung e_0 sowie zu einer geringeren Abtrennrate Δh_w. Beim Abrichten mit positiven Drehzahlverhältnis n_{ld} werden ebenfalls geringe Ebenheitsabweichungen erzielt. Jedoch variiert sich die Werkstückrauheit auf der Ober- und Unterseite des Werkstücks.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Mit der durchgeführten Analyse konnten grundlegende Erkenntnisse zu den Wirkzusammenhängen beim Abrichten von kunstharzgebundenen CBN-Schleifscheiben beim DPMP gewonnen werden, die den Stand der Technik erweitern. Die Korngröße der Abrichtwerkzeuge sowie die zerspante Abrichterhöhe Δh_d haben einen signifikanten Einfluss auf den Abrichtprozess. Insbesondere zeigten die Untersuchungen, dass die Abrichterkorngrößen d_{ka} in Abhängigkeit von der Schleifscheibenkorngröße d_k gewählt werden sollte. Eine grobe Abrichterkorngröße d_{ka} führt zu einem verstärkten Zurücksetzen der Schleifscheibentopgraphie, jedoch muss berücksichtigt werden, dass eine zu groß gewählte Abrichterkorngrößen d_{ka} gleichzeitig zu einem verstärkten Makroverschleiß der Schleifscheibe führt und damit die Werkstückqualität negativ beeinflusst. Eine zu klein gewählte Abrichterkorngröße d_{ka} führt dagegen zu einer Zusetzung der Schleifscheibe und verhindert damit den Abrichtprozess, was sich in einer geringen Abtrennrate Δh_w und Werkstückrauheit zeigt. Dabei wird angenommen, dass die Beobachtungen aus dem Verhältnis zwischen den Korngrößen des Abrichtwerkzeuges und der Schleifscheibe, dem Kornabstand sowie aus der Viskosität des entstehenden Slurrys aus KSS und abgetrennten Abrichtkörnern resultieren. Abhängig von diesen Größen kann der Spanraum zusetzen ohne die Bindung zurückzusetzen, was zu geringeren Svk-Werten führt. In weiterführenden Untersuchungen sollen die Wechselwirkungen aus Schleifbelags- und Abrichterspezifikation analysiert werden. Vor allem das Verhältnis zwischen der Korngröße der Abrichtringe und der Schleifscheibe sowie deren Kornkonzentration sollen hinsichtlich ihres Einflusses auf die Schleifbelagstopographie und damit auf das Schleifverhalten sowie auf das Arbeitsergebnis untersucht werden. Zusätzlich soll der Einfluss des, dem Abrichten nachgelagerten, Reinigungsprozesses analysiert werden. Mit den geplanten Analysen sollen die grundlegenden Wirkzusammenhänge zur Ausbildung der Schleifbelagstopographie beim Konditionieren beim Doppelseitenplanschleifen mit Planentenkinematik identifiziert werden.

DANKSAGUNG

Diese Veröffentlichung basiert auf den erzielten Ergebnissen im Rahmen des Forschungsvorhaben „Analyse der Profilier- und Schärfprozesse beim Doppelseitenplanschleifen mit Planetenkinematik“ (Projektnummer 354023160), das durch die deutsche Forschungsgesellschaft (DFG) gefördert wurde.

Literatur

[1] List, M.: Ortsabhängiges Verschleißmodell für das Doppelseitenplanschleifen mit Planetenkinematik. Dissertation TU Berlin. Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin. Hrsg.: Uhlmann, E.; Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2019

[2] Uhlmann, E.; List, M.; Lichtschlag, L.: Stellgrößen beim Doppelseitenplanschleifen mit Planetenkinematik. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 2016, 111 (7-8), S. 399–402

[3] Uhlmann, E.; Hasper, G.; Hoghé, T.; Hübert, C.; Mihotovic, V.; Sammler, C.: Machining and Finishing of Ceramics. Ceramics Science and Technology, 2013, S. 247–266

[4] Preising, D.; Dennis, P. A.: Feinschleifen als Substitutionsverfahren zum Läppen Rz < 1 µm. 5. Seminar Moderne Schleiftechnologie und Feinstbearbeitung: neue Entwicklungen und Trends aus Forschung und Praxis, 2004, S. 431–449

[5] Ardelt, T.: Einfluss der Relativbewegung auf den Prozess und das Arbeitsergebnis beim Planschleifen mit Planetenkinematik. Dissertation TU Berlin. Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin. Hrsg.: Uhlmann, E.; Berlin: IPK, 2001

[6] Uhlmann, E.; Kleinschnitker, M.; Hoghé, T.: Optimierungspotentiale beim Doppelseitenplanschleifen mit Planetenkinematik. Jahrbuch Schleifen, Honen, Läppen und Polieren, Hrsg.: Hoffmeister, H.-W.; Denkena, B.. 2016 (67), S. 67–77

[7] Rußner, C.: Präzisionsplanschleifen von Al2O3-Keramik unter Produktionsbedingungen. Dissertation TU Dresden. Göttingen: Cuvillier Verlag, 2006

[8] Egger, R.: Planschleifen von Keramik mit zykloidischer Wirkbewegung. Dissertation IFW Hannover. Fortschrittberichte VDI. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2001

[9] Funck, A.: Planschleifen mit Läppkinematik. In: Spur, G. (Hrsg.): Forschungsberichte für die Praxis. München: Carl Hanser Verlag 1995.

[10] Uhlmann, E.; Ardelt, T.; Spur, G.: Influence of Kinematics on the Face Grinding Process on Lapping Machines. CIRP Annals, 1999, 48 (1), S. 281–284

[11] Lichtschlag, L.; Uhlmann, E.: Einflussgrößen des Schärfens beim Doppelseitenplanschleifen mit Planentenkinematik. wt Werkstattstechnik online, 2020, 110, 6, S. 393–398

[12] Uhlmann, E.; Hoghé, T.: Wear reduction at double face grinding with planetary kinematics. Production Engineering Research and Development, 2012, 6 (3), S. 237–242

[13] Stähli, A. W.: Flachhonen mit Läppkinematik: Hochproduktiv, präzise und kostengünstig. 6. Seminar Moderne Schleiftechnologie und Feinstbearbeitung, 2006, S. 147–154

[14] DIN EN ISO 251782: Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Flächenhaft – Teil 2: Begriffe und Kenngrößen für die Oberflächenbeschaffenheit, Berlin: Beuth Verlag GmbH, 2023

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing Eckart Uhlmann
Foto: Fraunhofer IPK

Arunan Muthulingam, M.Sc.
Foto: TU Berlin / IWF
Tel. +49 30 / 314-22903
muthulingam@iwf.tu-berlin.de

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)

Technische Universität Berlin
Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF)
Pascalstr. 89, 10587 Berlin
www.iwf.tu-berlin.de

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-07-08-28, am 26.12.2024, 06:59:43
Open Access – (cc) BY – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb

LIZENZ

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

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-07-08-28, am 26.12.2024, 06:59:43
Open Access – (cc) BY – https://elibrary.vdi-verlag.de/agb