

P. Dültgen, Ch. Pelshenke, D. Lenz, H.-W. Lahmann, D. Garten, J. Klemm

Innovative Entwicklung im Bereich der optoelektronischen Erfassung von Oberflächenkenngrößen und Verschleißmerkmalen

Entwicklung von neuartigen Algorithmen zur optoelektronischen Erfassung und Analyse von Verschleißmerkmalen an CBN- und Diamant-Schleifwerkzeugen in Korrelation zum Standzeitverhalten

■ Die in Deutschland hergestellten Diamantwerkzeuge, wie z.B. Schleifscheiben, Schleifstifte und Schleifbänder, haben dank ihrer exzellenten Qualität sowohl national als auch international, einen sehr guten Ruf. Aufgrund der großen Bedeutung des Schleifprozesses für fertigungstechnische Aufgaben in der metallverarbeitenden Industrie wie auch in weiteren Industriebranchen (z.B. in der Optikindustrie) bedarf es einer weiteren Steigerung der Leistungsfähigkeit dieser Werkzeuge. Dabei muss eine hohe Prozesssicherheit und eine möglichst präzise Vorhersage des Schleifergebnisses und der Werkzeugstandzeit unter Berücksichtigung der konkreten Bearbeitungsparameter und Prozessbedingungen gewährleistet sein. Seit mehreren Jahren werden daher immer wieder von verschiedenen Schleifwerkzeugproduzenten und von Anwendern dieser Werkzeuge die Forderungen gestellt, relevante Oberflächenmerkmale zur objektiven Charakterisierung des Verschleißzustandes, insbesondere von galvanisch gebundenen Schleifwerkzeugen, zu erfassen und zu bewerten sowie darauf basierend Zusammenhänge zum Standzeitverhalten der Werkzeuge in Abhängigkeit des zu bearbeitenden Werkstoffes und der Bearbeitungsparameter zu untersuchen^[1].

Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Peter Dültgen

Leiter der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e. V. (FGW) in Remscheid

Dr. Christian Pelshenke

Stellvertretender Leiter des Instituts für Werkzeugforschung und Werkstoffe (IFW) in Remscheid

M.Sc. Dominik Lenz

Wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Werkzeugforschung und Werkstoffe (IFW) in Remscheid

Dipl.-Phys. Heinz-Wolfgang Lahmann

Geschäftsbereichsleiter Messtechnik/Prüfstandsentwicklung und -bau der GFE-Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung Schmalkalden e. V.

Dr.-Ing. Daniel Garten

Wissenschaftlicher Mitarbeiter der GFE in Schmalkalden

Dipl.-Ing. (FH) Jan Klemm

Wissenschaftlicher Mitarbeiter der GFE in Schmalkalden

Ausgehend vom bekannten Stand der Technik werden zur Charakterisierung von Schleifwerkzeugoberflächen heutzutage verschiedenste Kenngrößen genutzt. Zu den wichtigsten Größen zählen die Kornkonzentration, die Bindungshärte, die Korngröße, die statische und kinematische Schneidenzahl sowie der kinematische Schneidenabstand. Bei den beiden letztgenannten Merkmalen findet die Dynamik des Prozesseinsatzes Berücksichtigung. Die Bestimmung der genannten Oberflächenmerkmale erfolgt noch oft auf rein visueller Basis unter Nutzung relativ einfacher optischer Systeme. Da die Charakterisierung zumeist manuell durchgeführt wird, spielt die individuelle Erfahrung des Prüfers, der die Oberfläche betrachtet, eine entscheidende Rolle zur Ermittlung und Bewertung des entsprechenden Merkmals. Auch auf indirektem Wege las-

sen sich Erkenntnisse über den Zustand des Schleifbelages gewinnen, wie z.B. durch die Bestimmung der Wirkrautiefe am betrachteten Werkstück. Außerdem wird nach wie vor das so genannte „Negativverfahren“, bei dem mit Hilfe einer Abdruckmasse die Belagtopografie erfasst wird, bei der Qualitätsbeurteilung des Schleifbelages eingesetzt. Der so erzeugte Abdruck kann anschließend mit einem berührend arbeitenden Tastsystem oder auch berührenslos, ohne eine Beeinflussung des Schleifbelages, ziemlich gut charakterisiert werden^[2]. In der jüngeren Vergangenheit gab es einige Entwicklungen im Bereich von Kenngrößen zur Charakterisierung der Oberfläche von galvanisch gebundenen Schleifwerkzeugen. In diesem Zusammenhang sind u.a. der mittlere Kornbindungsüberstand und die mittlere Kornspitzenverteilung zu nennen^[3].

Anforderungen und Zielstellungen an die Entwicklung

Da die Oberflächentopografie des Schleifwerkzeuges die Werkstückoberfläche in entscheidendem Maße beeinflusst, ist die Kenntnis von den Verschleißerscheinungen, -ausprägungen und -verhalten der eingebundenen Schleifkörner und damit dem gesamten Verschleißverhalten des Werkzeuges von wesentlicher Bedeutung. Auch die Gewinnung von Erkenntnissen zum möglichen Einfluss der Oberflächentopografie auf die auftretenden Schleifkräfte während des Bearbeitungsprozesses und die Randzonenbeeinflussung waren Gründe für die Bearbeitung des durchgeführten Forschungsvorhabens.

Von den genannten Forderungen ausgehend müssen Messverfahren und entsprechende technische Lösungen entwickelt und realisiert werden, die letztendlich auch dem Anspruch der zu erreichenden Qualitätsanforderungen im deutschen und europäischen Normenwerk Rechnung tragen^[4].

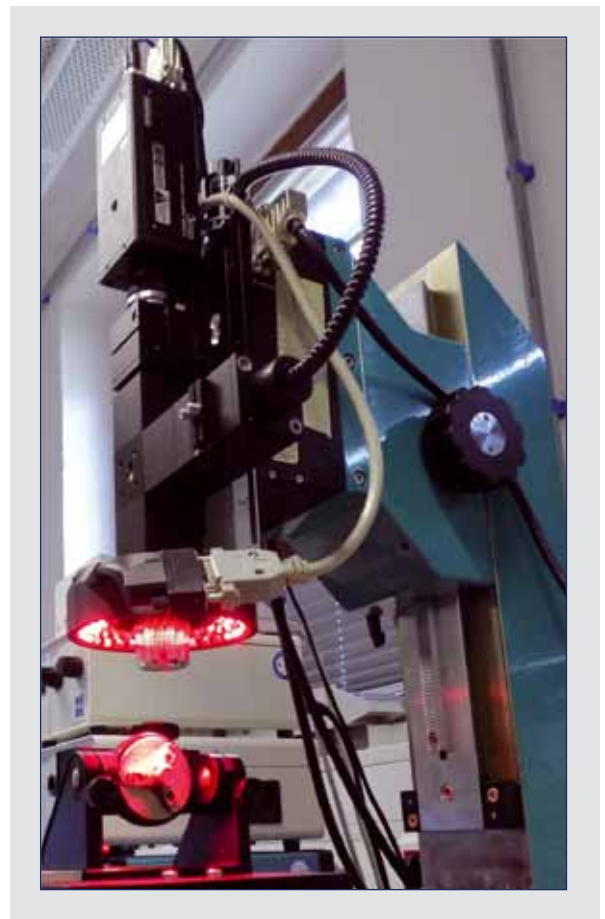
Das Ziel des Vorhabens war es daher, auf Basis moderner optoelektronischer Verfahren zur Erfassung und Analyse die Verschleißmerkmale an CBN- und Diamant-Schleifwerkzeugen im industriellen Umfeld objektiv und schnell zu ermitteln und eine Lösung zur Definition objektiver Verschleißmerkmale zu erarbeiten.

Weiterhin war es erforderlich zu klären, welche Oberflächenkenngrößen das Verschleißverhalten der Schleifwerkzeuge in Abhängigkeit der Einsatzbedingungen am besten beschreiben und wie die genauen Auswirkungen auf den Bearbeitungsprozess und das -ergebnis sowie die Leistungsfähigkeit der Schleifwerkzeuge sind. Die maximal erreichbare Standzeit der Werkzeuge bei Erzielung einer

gleichbleibend hohen Bearbeitungsqualität soll möglichst optimal ausgenutzt werden.

Methodisches Vorgehen

Das Forschungsvorhaben unterteilte sich in die Schwerpunkte „Gezielte Verschleißerzeugung mit begleitender Standzeitbewertung“ und „Optoelektronische Erfassung der 3-D-Werkzeugoberfläche“ mit anschließender Verschleißcharakterisierung an CBN- und Diamant-Schleifwerkzeugen. Hierzu wurden industriell übliche Schleifrollen mit einschichtigem Kornbesatz in einer Nickelbindung verwendet, um mit CBN-Schleifrollen gehärteten Stahl (62 HRC) und mit Diamant-Schleifrollen feinkörniges Hartmetall (PZ10) zu schleifen. Ebenfalls wurden Verschleißuntersuchungen mit Diamant-Schleifstiften an Hartmetallproben durchgeführt. Der Schleifprozess wurde so realisiert, dass die eingesetzten Werkzeuge drei Zonen von unterschiedlichem Verschleiß und Materialeingriff hatten: kein Verschleiß, mittlerer Verschleiß, starker Verschleiß. Um die Verschleißerscheinungen wie beispielsweise Kornabflachung, Kornausbruch oder Auswaschung der Bindungsebene nachweisen zu können, wurde ein Demonstrator (*Bild 1*) mit einer speziellen mikroskopischen Bildaufnahmetechnik und entsprechender Auswertesoftware entwickelt. Dieser ermöglicht unter verschiedenen Drehrichtungen und Neigungswinkeln eine kombinierte Dunkel- und Hellfeldbeleuchtung der Schleifmitteloberfläche. Die neu entwickelte 3-D-Auswertesoftware generiert aus den jeweils unterschiedlich beleuchteten Bilddaten gleichen Messorts eine zusammengesetzte 3-D-Punktewolke, die einen wesentlich höheren Informationsgehalt der komplexen Oberflächengeometrie widerspiegelt. Es wurden verschattete oder überstrahlte Konturen vermieden. Eine nachfolgende Abtastung der digitali-



sierten 3-D-Punktewolke durch spezielle Auswertelgorithmen weist Verschleißmerkmale wie beispielsweise den Grad der Abplattung an der Kornspitze, auch als Toleranzparameter t benannt, und deren Kornbindungsüberstand gegenüber der Nachbarumgebung sicher nach. Diese Verschleißparameter lassen einen Rückschluss auf den Verschleißgrad des Werkzeuges zu. Auch beispielsweise Ausbrüche der Schleifkörner wurden in der 3-D-Ergebnispunktewolke nachgewiesen. Den industriellen Anwendern und Herstellern solcher Schleifwerkzeuge steht somit ein Demonstrator für eine automatisierte Messlösung zur Verfügung, mit dem die genannten Verschleißparameter objektiv gemessen werden können.

Technische Realisierung des Messsystems mit Multi-Ringlicht-Beleuchtung

Im Folgenden werden der Aufbau und die Wirkungsweise des entwickelten Messsystems mit

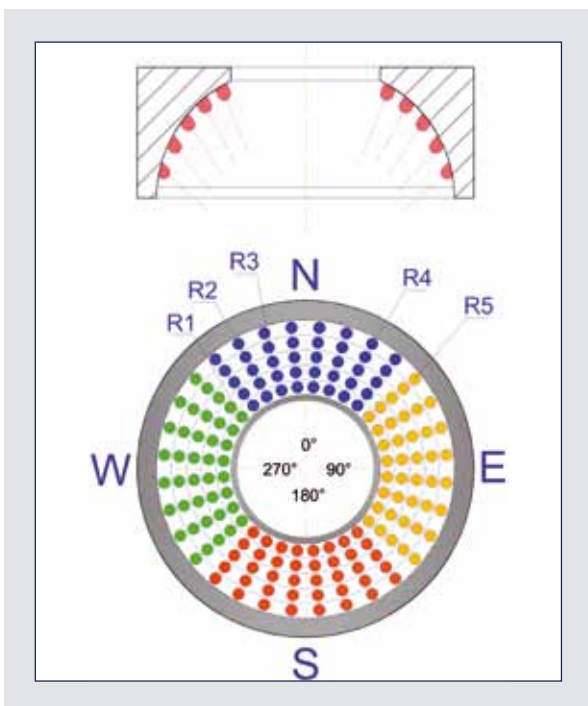
Bild 1
Optisches Messgerät mit kombinierter Dunkel- und Hellfeldbeleuchtung.



Bild 2
Dunkelfeldringlicht mit 4-Quadranten und 5 x 4 Ringsegmenten.

Multi-Ringlicht-Beleuchtung erläutert. Das weiterentwickelte optische Messsystem nutzt das Prinzip der geringen Tiefenschärfe bei hoher Vergrößerung eines Objektivs und ist allgemein unter dem Begriff „Fokusvariation“ bekannt^[5]. Lediglich die Objektbereiche, welche innerhalb des Tiefenschärfebereichs liegen, werden scharf, d. h. mit relativ starkem Kontrast abgebildet. Durch die Auswertung der Differenzen der einzelnen Grauwerte von einer Bildfolge, bezo-

Bild 3
Dunkelfeldbeleuchtung mit 20 LED-Segmenten.



gen auf jeweils ein und denselben Bildpunkt eines Matrix-Sensors, wird die Objektebene, in der der Bildpunkt die maximale Schärfe hat, ermittelt. Dieses Verfahren setzt eine kontrastbildende Eigenstruktur der zu messenden Objektfläche voraus. Wenn diese jedoch nicht vorliegt, besteht die Möglichkeit eine definierte Struktur auf den zu erfassenden Bereich der jeweiligen Ebene der Oberfläche zu projizieren. Die hardwaremäßige Weiterentwicklung des optischen 3-D-Messsystems basiert auf der Integration einer Dunkel-feld-Auflichtbeleuchtung, die als Multi-Ringlichtbeleuchtung (Bild 2) ausgeführt ist. Dabei sind LEDs eingesetzt, wobei 20 Segmente je 8 LEDs in Reihenschaltung als 4-Quadranten Beleuchtung aus den Richtungen Nord (0°), Ost (90°), Süd (180°) und West (270°) als Drehwinkelposition um die Z-Achse der Messbildebene unter verschiedenen Neigungen anwählbar sind (Bild 3 und Bild 4). Das Beleuchtungsregime für die Bildaufnahmen in jeweils einer Ebene wurde so gestaltet, dass bis zu zwanzig Bilder mit der eingesetzten Auflichtbeleuchtung aus den unterschiedlichsten Beleuchtungsrichtungen und -ebenen aufgenommen werden können. Nach der

Verrechnung der Einzelbilder zu einem Gesamtbild für jede Ebene der Bildfolge erhält man für den aufgenommenen Objektbereich der Schleifwerkzeugoberfläche ein 3-D-Bild, in dem Verschattungen und störende Reflexionen weitestgehend eliminiert sind. Der Informationsgehalt des 3-D-Bildes ist durch dieses Bildaufnahmeregime deutlich höher als mit dem in der Vergangenheit eingesetzten Bildaufnahmeprozess unter Nutzung einer Einfach-Ringbeleuchtung. Wegen der seriellen Nutzung der Beleuchtung aus den vier verschiedenen Richtungen und den fünf Ebenen bei der Aufnahme der Bildfolge können auch steile Flanken der Schleifkörner erfasst und ausgewertet werden. Durch die vorgestellte Vorgehensweise ist es nun möglich die Kenngröße „Toleranzparameter“ (Bild 5) mit der notwendigen Auflösung und Qualität zu ermitteln, um den Grad der Abflachung an der Kornspitze eines Diamant- oder CBN-Korns messtechnisch charakterisieren zu können.

Wirtschaftliche Relevanz/Wirtschaftlicher Nutzen

Herkömmliche Prüfverfahren zur optischen Erfassung und Analyse

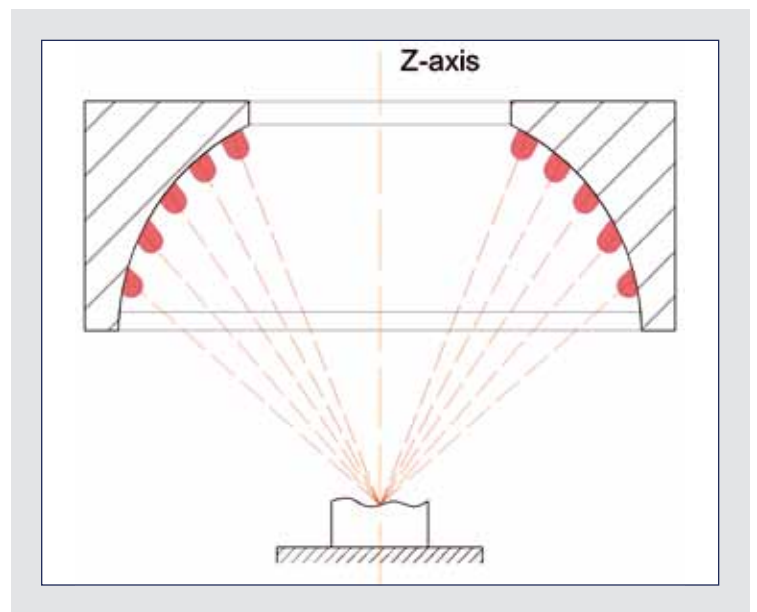


Bild 4
Drehwinkelposition um die Z-Achse anwählbar.

der Verschleißmerkmale an Schleifmitteln sind kosten- und zeitintensiv. Bestehende, vereinfachte Prüfverfahren nach dem Stand der Technik bilden den untersuchten Bereich nicht wirklichkeitsgetreu ab und sind daher nur begrenzt hilfreich und einsetzbar. Das im Forschungsprojekt entwickelte optische Prüfverfahren bietet erstmals eine Möglichkeit zur schnellen und wirtschaftlichen Durchführung einer Bewertung von Schleifmitteln. Mit dem im Vorhaben entwickelten Prüfverfahren kann nun der Industrie ein Werkzeug an die Hand gegeben werden, mit welchem die Möglichkeit geschaffen wird, in kurzer Zeit und mit vertretbarem Aufwand die Eignung von Schleifmitteln in Abhängigkeit zum Standzeitverhalten zu überprüfen und qualitativ abzubilden. Das Verschleißverhalten der Werkzeuge kann somit effektiv ermittelt und der Werkzeugeinsatz optimiert werden. Dies führt zur Verringerung von Kos-

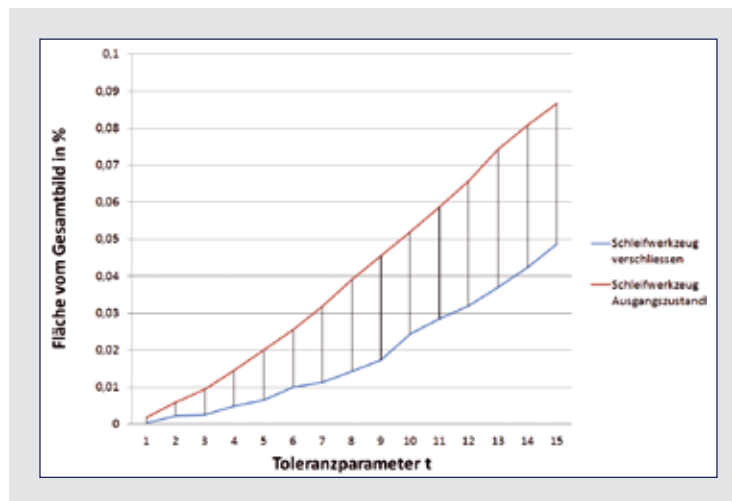


Bild 5
Kenngröße
Toleranzparameter.

ten für die Nachbearbeitung, zur Vermeidung von Anlagenstillstandszeiten und weiteren Rüstvorgängen und folglich zu verringerten Produktionskosten bei den Anwendern der so untersuchten Schleifmittel. Für die Unternehmen, in denen Schleifprozesse zum Tagesgeschäft gehören, stellen diese Aspekte einen erheblichen Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit

dar. Für die Hersteller von Schleifwerkzeugen ermöglicht das entwickelte Prüfverfahren eine verbesserte Ausrichtung der Entwicklungsaktivitäten auf spezifische Kundenprobleme. Die Effektivität von Schleifmitteln hinsichtlich der Verschleißreduzierung bei der Oberflächenbearbeitung kann nun zuverlässiger und mit verringerten Kosten geprüft und bewertet werden. Dies

LaserPlus⁺
Measurement System

Gleichbleibende Qualität vom ersten bis zum letzten Werkzeug



Vorteile:

- Vermessung der Werkzeuge im Schleifprozess
- Automatische Vermessung und Kompensation
- Messung von Formprofilen, Vollradius und Eckradiuswerkzeugen
- die Werkzeuge bleiben vom ersten bis zum letzten Werkzeug im Toleranzbereich
- reduzierte Aufbauzeit und erhöhte Produktivität
- Reduzierung von Ausschuss
- zusätzliche Mess-Ausrüstung ist überflüssig

stellt einen relevanten Beitrag zur Steigerung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit dar. Es hat sich in der Praxis gezeigt, dass geringe Differenzen in der Oberflächenbeschaffenheit eines neuwertigen Schleifmittels zu erheblichen Unterschieden hinsichtlich des Werkzeugverschleißfortschrittes führen können. Den verhältnismäßig geringen Kosten, die für die Anwendung des entwickelten Messverfahrens benötigt werden, steht daher ein erhebliches Potential zur Erzeugung qualitativ hochwertiger Schleifmittel und zur Verringerung von Ausschussproduktionen bzw. einer Verbesserung der Schleifmittelhaltbarkeit gegenüber.

Fazit

Die vorgestellten Arbeiten und besonders die objektive, von der

Schleifkornform unabhängige, 3-D-Abflachungsauswertung eignen sich als Messverfahren, um sicher den Verschleißgrad eines Schleifwerkzeugs nachzuweisen. Ebenfalls kann durch die gezielte Beleuchtungsvariation dieses Mess- und Auswerteverfahren für Diamant- und CBN-Schleifwerkzeuge verwendet werden. Die Rohdatenqualität der zusammengesetzten und berechneten Ergebnispunktewolke gibt in einer bisher nicht gekannten Qualität die individuelle Form der teilweise abgeflachten Diamantkörner und ebenfalls die unregelmäßige Oberflächenstruktur der ausgewaschenen Bindungsebene wieder. Auf dieser Grundlage wurde ein Mess- und Auswerteverfahren zur Detektion von Schleifkornabplattung entwickelt und als vollautomatisch ablaufendes Messsystem rea-

lisiert. Neben den schon bekannten Kenngrößen „Mittlerer Kornbindungsüberstand“ und „Mittlere Kornspitzenverteilung“ eignet sich insbesondere die Kenngröße „Toleranzparameter“ für die Bewertung des Verschleißzustandes eines Schleifwerkzeugs. Vor der Messung eines verschlissenen Werkzeuges ist jedoch eine entsprechende Reinigung der Oberfläche notwendig, um eventuell vorliegende Span- und Kühlmittelreste zu entfernen. Weitere Messkriterien beispielsweise zur Auswertung der Auswaschung bzw. Deformation der Bindungsebene sind denkbare und mögliche Lösungsansätze. Der Informationsgehalt der errechneten 3-D-Punktewolke ist sehr gut, so dass auf dieser Grundlage weitere Auswerteverfahren der 3-D-Daten möglich wurden.

weitere Infos www.fgw.de/ifw

Bildnachweis Verfasser

Danksagung: Das IGF-Vorhaben 482 ZGB der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. - FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid, wurde 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.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Literaturnachweis [1] Juchem, H. O.: „Ergebnis hängt von der Auswahl ab. Diamantkörnungen für die Keramikbearbeitung“, Schweizer Maschinenmarkt, Band 90 (1990) Heft 40, S. 44–49 **[2]** Ch. Hübert, F. Mauren, M. van der Meer, D. Hahmann, K. Rickens, Y. Mutlugünes, W.-C. Hahmann, M. Pekárek: Charakterisierung von Schleifscheibentopografien aus fertigungstechnischer Sicht. dihw 1-IV/2009, 40–47 **[3]** H. Brand, P. Dültgen, M. Stöckmann, H.-W. Lahmann, F. Barthelmä: Qualität von CBN-Schleifscheiben schnell und objektiv bestimmen. Maschinenmarkt MM-037.2010-Produktion-Zerspanungstechnik, Ausgabe 13.09/2010, Seite 64–66 **[4]** Wegener, K.; Hoffmeister, H.-W.; Karpuschewski, B.; Kuster, F.; Hahmann, W.-C.; Rabiey; M. Conditioning and monitoring of grinding wheels. CIRP Annals - Manufacturing Technology 60 (2011) 757–777 **[5]** R. Danzl, F. Helml, P. Rubert, M. Prantl: Optical roughness measurements on specially designed roughness standards. In Proc. Optical Fabrication, Testing and Metrology, Glasgow, 2008.