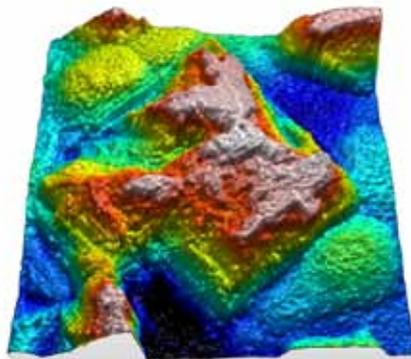
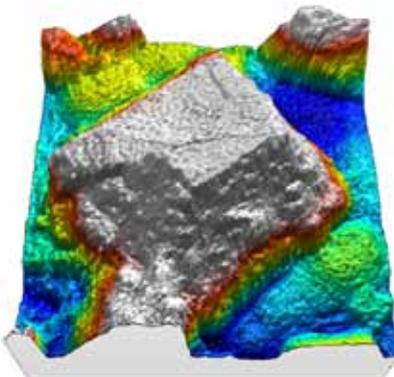
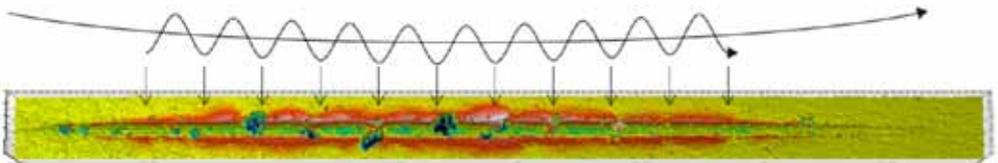


Duktile Bearbeitung sprödharter Werkstoffe mit groben galvanisch gebundenen Schleifscheiben

Heike Kitzig-Frank



Duktile Bearbeitung sprödharter Werkstoffe mit groben galvanisch gebundenen Schleifscheiben

Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der
Technischen Fakultät der
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. (FH) Heike Kitzig-Frank

aus Villingen-Schwenningen

Hauptberichter: Prof. Dr. Holger Reinecke

Mitberichter: Prof. Dr. Taghi Tawakoli

Prof. Dr. Jürgen Wilde

Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK)
Kompetenzzentrum für Spanende Fertigung (KSF)

2017

Tag der mündlichen Prüfung 13.12.2017

Berichte aus der Fertigungstechnik

Heike Kitzig-Frank

**Duktile Bearbeitung sprödharter Werkstoffe mit
groben galvanisch gebundenen Schleifscheiben**

Shaker Verlag
Aachen 2017

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Freiburg, Univ., Diss., 2017

Copyright Shaker Verlag 2017

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5725-6

ISSN 0945-0769

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Meiner verstorbenen Tochter Patricia
(17.12.1988 - 8.06.2012)

Danksagung

Die vorliegende Dissertationsschrift entstand aus den Forschungsarbeiten während meiner wissenschaftlichen Tätigkeit am Kompetenzzentrum für Schleiftechnologie und Feinstbearbeitung, seit 2015 Kompetenzzentrum für Spanende Fertigung, KSF an der Hochschule Furtwangen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Mikrosystemtechnik IMTEK der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg innerhalb des Promotionskollegs „Genmik“ (Generierungsmechanismen von Mikrostrukturen). An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei meinem Betreuer, dem ehemaligen Leitern des KSF, Herrn Prof. Dr. Tawakoli, nicht nur für die kompetente fachliche Betreuung während der Entstehung dieser Arbeit, sondern auch für die Unterstützung während meiner Arbeitszeit am KSF danken. Ein sehr großer Dank geht auch an Herrn Prof. Müller (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg) und an den heutigen Leiter des KSF, Herrn Prof. Dr. Azarhoushang, Dr. Alireza Vesali (Bosch), Dr. Ali Zahedi (KSF) und Amir Daneshi (KSF) für ihre fachliche Unterstützung und an Rolf Rinderknecht (KSF) für seine technische Unterstützung. Ein weiterer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Reinecke, Herrn Prof. Dr. Wilde (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg), Herrn Prof. Dr. Eberl (Fraunhofer IWM) für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes und Herrn Prof. Dr. Hiermaier (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg) für den Prüfungsbeisitz. Bedanken möchte ich mich weiterhin bei der Universität Freiburg, die mir ermöglichte ein Eignungsverfahren zu absolvieren und das Erstellen dieser Dissertation erst möglich machte. Ein Dankeschön gilt Herrn Prof. Dr. Mescheder, Leiter des Instituts für Angewandte Forschung der Hochschule Furtwangen, der mich während dieser Arbeit ebenso unterstützt hat. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Firma Tyrolith, die mir eine Schleifscheibe zur Verfügung stellte, bei Firma Dr. Wolters, die mir zahlreiche Keramik- und Hartmetallwerkstücke kostenfrei poliert haben und bei Firma AMMM, M.P. Interconsulting, für fachliche Unterstützung bzw. der Ultraschallbearbeitung.

Besonders möchte ich mich herzlich bei allen Mitarbeitern des KSF bedanken, die mit hilfreichen Anregungen und einem immer sehr angenehmen Arbeitsklima zum erfolgreichen Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, insbesondere Maria Kohmann und Jürgen Struß. Einen weiteren Dank spreche ich den Studenten Erdal Dursun und Matthias Spada aus, die im Rahmen studentischer Tätigkeiten unterstützend an der vorliegenden Arbeit mitgewirkt haben.

Meinen größten Dank möchte ich jedoch meinen Eltern, Ingrid und Manfred Hildebrandt aussprechen, die meine schulische und berufliche Ausbildung, meinen beruflichen und wissenschaftlichen Werdegang sowie die Anfertigung dieser Arbeit erst ermöglicht haben. Ein weiteres Dankeschön geht an meinen Ehemann Arnold Frank, der mit viel Geduld, Unterstützung und Motivation ebenfalls zum Abschluss dieser Arbeit beigetragen hat.

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Stand der Technik.....	3
2.1	Spröde Werkstoffe	3
2.1.1	Aluminiumoxid.....	6
2.1.2	Hartmetall	8
2.2	Schleifbearbeitung spröder Werkstoffe	9
2.2.1	Schleifmechanismus	10
2.2.2	Duktiler und spröder Materialabtrag	13
2.2.3	Materialabtrag beim Schleifen spröder Werkstoffe	17
2.3	Ultraschallunterstütztes Schleifen	18
2.4	Diamantschleifscheiben	20
2.4.1	Galvanisch gebundene Diamantschleifscheiben	22
2.4.2	Konditionieren von galvanisch gebundenen Diamantschleifscheiben.....	25
2.4.2.1	Warum Konditionieren ?	25
2.4.2.2	Abrichtwerkzeuge	28
2.4.2.3	Ultraschallunterstütztes Abrichten	30
2.4.2.4	Abrichten galvanisch einschichtig belegter Schleifscheiben.....	31
2.5	Analogieuntersuchungen (Einkornritzen bzw. Einzelkornritzen)	32
3	Aufgabenstellung und Zielsetzung	37
4	Theoretische Betrachtungen	40
4.1	Theoretische Betrachtungen beim Einkornritzen (mit und ohne Ultraschallüberlagerung).....	40
4.1.1	Kinematisches Modell	40
4.1.2	Theoretischer Ansatz	45
4.2	Verfahrensprinzip der ultraschallunterstützten Fragmentierung von Schleifscheiben	49
5	Experimentelle Untersuchungen	59
5.1	Experimentelles Setup und Methoden	59
5.1.1	Versuchsmaschine.....	59
5.1.2	Ultraschalleinheit.....	59
5.1.2.1	Ultraschallsystem zur Werkstückanregung „Blocksonotrode“63	
5.1.2.2	Abrichtsystem zur ultraschallunterstützten Fragmentierung von Schleifscheiben.....	65
5.1.2.3	Hochfrequenzgenerator und Schallwandler	66
5.1.3	Diamant-Schleifscheiben.....	67
5.1.4	Einkornritzen	67

5.1.5	Diamant-Abriechtwerkzeuge	69
5.1.6	Versuchswerkstoffe	70
5.1.6.1	Aluminiumoxid	70
5.1.6.2	Hartmetall	71
5.1.7	Kühlschmierung	72
5.2	Mess- und Analysetechnik	72
5.2.1	Anschnitterkennung mit Acoustic Emission-Sensor	73
5.2.2	Messung der Ultraschallamplituden	74
5.2.3	Kraftmessung	74
5.2.4	Erfassung der Werkstückoberflächenstruktur	78
5.2.4.1	Rauheitsmessung zur Bewertung der Oberflächenqualität ...	78
5.2.4.2	Erfassung der Werkstücktopographie	80
5.2.5	Erfassung der Schleifscheibentopographie	81
5.2.6	Ermittlung des Verschleißes	82
5.2.7	Ermittlung des Abriechtwerkzeugverschleißes	82
5.3	Experimentelle Untersuchungen	83
5.3.1	Einkornritzversuche	83
5.3.1.1	Einfluss der Schnittgeschwindigkeit v_c	88
5.3.1.2	Einfluss des Vorschubs v_{fz}	96
5.3.1.3	Einfluss der Zustellung a_e bzw. der Ritztiefe t_R	100
5.3.1.4	Einfluss des Korndurchmessers (Spitzenradius) des Ritzdiamanten	101
5.3.1.5	Einfluss durch Ultraschallanregung	102
5.3.2	Ultraschallunterstützte Fragmentierung von Diamantkörnern auf galvanisch gebundenen Schleifscheiben	107
5.3.2.1	Verfahrensprinzip	109
5.3.2.2	Ergebnisse	111
5.3.2.3	Erzeugung von Mikrostrukturen	115
5.3.3	Schleifen mit der strukturierten Schleifscheibe	117
5.3.3.1	Schleifen mit fragmentierter und nicht fragmentierter Schleifscheibe	118
5.3.3.2	Einfluss der Abriecht-/Fragmentierungsbedingungen	120
5.3.3.3	Verschleiß	127
6	Diskussion und Zusammenfassung	131
7	Ausblick	134
8	Literaturverzeichnis	135