



**Berichte aus dem  
Institut für Fertigungstechnik  
und Qualitätssicherung  
Magdeburg**

**Abrichten keramisch  
gebundener Schleifscheiben mit  
CVD-Diamant-Formrollen**

**Timo Rouven Kaul**

# **Abrichten keramisch gebundener Schleifscheiben mit CVD-Diamant-Formrollen**

**Dissertation**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktoringenieur  
(Dr.-Ing.)**

von M.Eng. Timo Rouven Kaul  
geb. am 03.05.1988 in Hildesheim,  
genehmigt durch die Fakultät für Maschinenbau  
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Gutachter:

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h.c. Dr. h.c. Dr. h.c. Bernhard Karpuschewski

Prof. Dr.-Ing. Jan Christian Aurich

Prof. Dr.-Ing. Tjark Lierse

Promotionskolloquium am 09.09.2019



Berichte aus dem Institut für Fertigungstechnik und  
Qualitätssicherung Magdeburg

Band 46

**Timo Rouven Kaul**

**Abrichten keramisch gebundener Schleifscheiben  
mit CVD-Diamant-Formrollen**

Shaker Verlag  
Düren 2019

**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.: Magdeburg, Univ., Diss., 2019

Copyright Shaker Verlag 2019

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7012-5

ISSN 1863-0936

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren

Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachgebiet Werkzeugmaschinen, Fertigung, Montage & Qualität (WFM) an der Hochschule Hannover. Teile dieser Arbeit wurden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie mit Unterstützung der AIF-Projekt GmbH finanziell unterstützt.

Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. h.c. Dr. h.c. Dr. h.c. Bernhard Karpuschewski, dem ehemaligen Leiter des Institutes für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung (IFQ) der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg sowie jetzigem Direktor des Leibniz-Instituts für Werkstofforientierte Technologien (IWT) und Leiter des Fachgebietes Fertigungstechnik an der Universität Bremen, danke ich ganz herzlich für den fachlichem Rat, die intensive Betreuung und wertvollen Anregungen sowie die wohlwollende Förderung dieser Arbeit.

Herr Prof. Dr.-Ing. Tjark Lierse, der Leiter des Fachgebietes Werkzeugmaschinen, Fertigung, Montage & Qualität der Hochschule Hannover, hat mich fachlich und persönlich stets gefördert und mit seinem wissenschaftlichem Rat entscheidend zum Erfolg dieser Arbeit beigetragen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Jan Christian Aurich, dem Leiter des Lehrstuhls für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation (FBK) der Technischen Universität Kaiserslautern, danke ich ganz herzlich für die Durchsicht und die Übernahme des Korreferats sowie den weiteren Mitgliedern des Prüfungsausschusses.

Darüber hinaus bin ich unserem Kooperationspartner DR. KAISER DIAMANTWERKZEUGE GmbH & Co. KG für die Unterstützung bei der Entstehung dieser Arbeit sehr dankbar. Stellvertretend seien Dr.-Ing. Dirk Hessel, Thomas Maelecke, Ing. Christoph Müller, Dipl.-Ing. Christian Kühl sowie Jan Gerbothe genannt. Herrn Dipl.-Chem. Manfred Niebuhr der KREBS & RIEDEL SCHLEIFSCHEIBENFABRIK bin ich für die Bereitstellung der chargenreinen Werkzeuge und Schleifmittel sehr verbunden. Dank gilt auch meinen Kollegen der Hochschule Hannover, insbesondere Herrn M.Sc. Steffen Schulze, Herrn Dipl.-Ing. (FH) Dietrich Müller, Herrn Dipl.-Ing. (FH) Grégori Briegert, Frau Dipl.-Ing. (FH) Andrea Rohrig sowie Herrn Dipl.-Ing (FH) Frank Languth für die fachlichen Hinweise, Diskussionen und die großartige Unterstützung. Die Kollegen der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg haben mich mit ihrer

intensiven Zusammenarbeit in der Forschung unterstützt. Stellvertretend sei Herr Dr.-Ing. Florian Welzel, Oberingenieur am Institut für Fertigungstechnik und Qualitätssicherung (IfQ), Dipl.-Ing. Martin Beutner und Dr.-Ing. Max Köchig genannt.

Meinen ehemaligen studentischen Mitarbeitern M.Eng. Dominik Müller-Cramm, B.Eng. Malte Hanke, B.Eng. Andre Eder, David Keller, B.Eng. Daniel Meyer, Manuel Schmidt, B.Eng. Babak Shahani sowie B.Eng. Daniel Mollowitz danke ich für die Unterstützung bei der Realisierung von Versuchsaufbauten, die zur Umsetzung dieser Arbeit wesentlich beigetragen haben.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie, die meinen schulischen und akademischen Werdegang erst ermöglicht und mich währenddessen immer unterstützt hat. Meiner Partnerin Marnie danke ich für die liebevolle Unterstützung, die diese Arbeit erst ermöglicht hat.

Hannover, den 22.09.2019

Timo Rouven Kaul

## Kurzfassung

Formabrichter und konventionelle Schleifscheiben keramischer Bindung werden in der industriellen Praxis häufig für die Klein- und Mittelserienfertigung eingesetzt, sodass die Kontur flexibel an die jeweilige Arbeitsaufgabe angepasst werden kann. Bedingt durch die Weiterentwicklung der Syntheseverfahren in den vergangenen 25 Jahren wird neben Naturdiamanten überwiegend CVD-Diamant für formstabile Abrichtwerkzeuge verwendet. Für eine anforderungsgerechte Schleifscheibentopographie ist eine Kenntnis wirkender Prozessgrößen und -mechanismen zwingend erforderlich.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein kinematisches Modell zur Prognose der Prozesskräfte beim Abrichten mit Formrollen erarbeitet. Basis der Betrachtung ist die geometrisch definierte Gestalt der CVD-Diamanten ohne Freiwinkel, weshalb ein Anteil der Materialtrennung über die Freifläche realisiert wird und entsprechend die Prozesskräfte bestimmt.

Die Kräfte des Abrichtprozesses wiederum nehmen Einfluss auf die Schleifscheibentopographie als Nutzgröße. Ursächlich sind die Mechanismen Kornbruch und -ausbruch, deren Anteil maßgeblich variiert.

In Folge der tribologischen Beanspruchung tritt am Abrichtwerkzeug Verschleiß auf. Das verwendete Schleifmittel übt dabei wesentlichen Einfluss auf diese Verlustgröße aus. Grünes Siliciumcarbid führt im Vergleich zu Korund zu circa neun Mal höheren Verschleißraten am CVD-Diamantwerkzeug. Als Ursache wird der Adhäsivverschleiß vermutet, da die Adhäsion von Partikeln in Kombination mit einer Veränderung der Reibverhältnisse nachgewiesen werden kann. Oxidation und Oberflächenzerrüttung haben bei einer entsprechenden Prozesskühlung einen quantitativ geringeren Einfluss. Stahlspäne erhöhen die Verschleißrate am Abrichtwerkzeug nicht. Eine Graphitisierung am CVD-Diamanten kann nur in Randbereichen bei einer Prozessführung ohne Kühlschmierung ermittelt werden. Mögliche Umwandlungen zu  $sp^2$ -gebundenem Kohlenstoff auf der Stirnfläche des Diamanten werden durch die abrasive Wirkung des Schleifmittels direkt wieder getrennt und sind folglich nicht nachweisbar.



---

## Abstract

CNC dressing disks and conventional grinding wheels with vitrified bonds are often used in combination for the small batch and middle volume production to gain flexibility by changing the profile. Through the advancement of synthesis in the past 25 years CVD diamonds have become more important beside natural diamonds for the application in dimensionally stable dressing tools. To meet the requirements of the grinding wheel topography knowledge of process variables and mechanisms is needed.

In this thesis a kinematic model for the prediction of the process forces has been developed by the preparation with CNC dressing disks. The results are based on the consideration of the diamond shape, which is geometrical defined without flank angle. Therefore a part of the material removal is realized by the flank face, which affects the process forces.

In turn the forces of the dressing process determine the grinding wheel topography as a benefit variable. The mechanism of grit splintering and breakout is causal, which rates mainly differ.

Regarding the process as a tribological system the dressing tool underlies wear. The used abrasives heavily influence this loss variable. Green silicon carbide causes approximately nine times higher wear rates than corundum by dressing with CVD diamond. Through the adhesion of particles and friction changes the adhesive wear is assumed as a reason. Oxidation and surface disruption slightly affect the attrition by supplying sufficient cooling lubricant. Added steel chips had no influence on the wear rate. A graphitization can only be proven on the edge of the CVD diamond conducting the dressing process without cooling lubricant. Therefore a possible transformation to  $sp^2$  carbon sites is removed on front side by the abrasives and cannot be detected as a consequence.



---

## Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b> .....	<b>I</b>
<b>Kurzfassung</b> .....	<b>III</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>V</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>VII</b>
<b>Formelzeichen</b> .....	<b>XI</b>
<b>Abkürzungen</b> .....	<b>XVII</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik</b> .....	<b>3</b>
2.1 Aufbau keramisch gebundener Schleifscheiben .....	3
2.1.1 Schleifmittel .....	4
2.1.2 Keramische Bindung .....	6
2.2 Einsatzvorbereitung von Schleifscheiben .....	7
2.2.1 Einteilung nach dem Wirkprinzip .....	8
2.2.2 Einteilung nach der Verfahrenskinetik und Werkzeugform .....	11
2.2.3 Einteilung nach sequenzieller und simultaner Prozessausführung .....	12
2.3 Aufbau und Einsatzgebiete von Formrollen .....	13
2.3.1 Diamantarten und -formen .....	14
2.3.2 Abrichtbelag und Diamantierung .....	15
2.3.3 Bindungssysteme .....	17
2.4 Mechanisches Abrichten mit Formwerkzeugen .....	18
2.4.1 Stellgrößen .....	18
2.4.2 Modellierung des Abrichtprozesses .....	22
2.4.3 Mechanismen an der Schleifscheibe .....	26
2.5 Abrichtprozess als tribologisches System .....	27
2.5.1 Verschleißmechanismen an Diamanten .....	27
2.5.2 Einfluss des Bindungssystems .....	31
2.5.3 Prozessführung und Stellgrößen beim Formabrichten .....	32
2.6 Kritische Einschätzung .....	34
<b>3 Aufgabenstellung und Zielsetzung</b> .....	<b>37</b>
<b>4 Versuchstechnik und -durchführung</b> .....	<b>39</b>

4.1	Maschinen und Aufbauten .....	39
4.2	Verwendete Werkzeuge.....	41
4.3	Abrichtspindeltechnik.....	43
4.4	Prozessmedien .....	44
4.5	Analysetechnik.....	45
<b>5</b>	<b>Aufbau eines Modells für das Abrichten mit CVD-Diamant-Formrollen 47</b>	
5.1	Vorversuche zum Einfluss der Schleifscheibenumfangsgeschwindigkeit ....	47
5.2	Anwendbarkeit bestehender Modelle zur Berechnung der Abrichtkräfte .....	51
5.3	Theoretische Bestimmung der Eingriffsverhältnisse .....	53
5.3.1	Bahnbewegung .....	53
5.3.2	Eingriffslänge eines Abrichtdiamanten.....	56
5.3.3	Abrichtvolumina pro Diamanteingriff .....	61
5.3.4	Kinematische Kontaktlängen.....	71
5.3.5	Mittlere Spannungsquerschnitte und deren Höhen.....	73
5.4	Theoretische Bestimmung der Abrichtkräfte .....	75
<b>6</b>	<b>Verifizierung des Modells..... 81</b>	
6.1	Bestimmung der material- und prozessspezifischen Parameter .....	81
6.2	Überprüfung der Modellgüte .....	85
6.3	Zwischenfazit .....	89
<b>7</b>	<b>Wirkmechanismen beim Abrichten an der Schleifscheibe ..... 91</b>	
7.1	Partikeleinordnung .....	92
7.2	Qualitative Analyse der getrennten Bruchpartikel .....	96
7.3	Quantitative Analyse der getrennten Bruchpartikel .....	98
7.3.1	Kornausbruch.....	98
7.3.2	Kornbruch / Splintern .....	100
7.4	Wirkzusammenhänge zwischen Stell- und Ausgangsgrößen .....	101
7.5	Zwischenfazit .....	102
<b>8</b>	<b>Wirkmechanismen am Abrichtwerkzeug ..... 105</b>	
8.1	Quantitative Verschleißbetrachtung .....	105
8.2	Qualitative Verschleißbetrachtung .....	107
8.2.1	Makroskopische Analyse der Abrichtdiamanten .....	108
8.2.2	Detailanalyse der Abrichtdiamanten .....	118
8.3	Einfluss der Abrichterbindung .....	127

---

8.4	Einfluss der Prozessmedien .....	130
8.4.1	Stahlspäne .....	130
8.4.2	Kühlschmierstoff .....	133
8.5	Zwischenfazit .....	136
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>139</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>143</b>
<b>11</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>165</b>
11.1	Ergänzende Formeln aus der Literatur .....	165
11.2	Ergänzende Formeln aus der theoretischen Betrachtung.....	167



## Formelzeichen

### Lateinische Majuskel

$A_d$	Eingriffsfläche eines Diamanten nach [Link07]	$[\mu\text{m}^2]$
$A_{hd}$	mittlerer Abrichtspanquerschnitt nach [Link07]	$[\mu\text{m}^2]$
$A_{hd}^{**}$	angepasster mittlerer Abrichtspanquerschnitt nach [Link07]	$[\mu\text{m}^2]$
$A_{hd,crush}$	mittlere Spannungsquerschnitt des Crusheranteils	$[\text{mm}^2]$
$A_{hd,fr}$	mittlere Spannungsquerschnitt des Fräsanteils	$[\text{mm}^2]$
$A_{sd}$	Abrichtquerschnitt nach [Mink99]	$[\text{mm}^2]$
$F_d$	Abrichtkraft	$[\text{N}]$
$F_{nd}$	gemessene Abrichtnormalkraft	$[\text{N}]$
$F_{nd,m}$	berechnete Abrichtnormalkraft	$[\text{N}]$
$F_{td}$	gemessene Abrichttangentialkraft	$[\text{N}]$
$F_{tdK}$	Anteil der Abrichttangentialkraft zum Trennen von Schleifscheibenmaterial	$[\text{N}]$
$F_{tdR}$	Reibanteil der Abrichttangentialkraft	$[\text{N}]$
$F_{td,m}$	berechnete Abrichttangentialkraft	$[\text{N}]$
$H$	Profilhöhe nach [Schm68]	$[\mu\text{m}]$
$H_{kin}$	Höhenkomponente der kinematischen Kontaktlänge	$[\mu\text{m}]$
$H_{\Delta V_{d2}}$	Hilfsgröße zur Berechnung von $\Delta V_{d2}$	$[\mu\text{m}]$
$K_1$	werkzeugabhängige Konstante nach [Link07]	$[-]$
$K_2$	werkzeugabhängige Konstante nach [Link07]	$[\mu\text{m}^2]$
$K_{lc}$	Bruchzähigkeit bzw. Spannungsintensitätsfaktor	$[\text{N}/\text{mm}^2 \cdot \text{m}^{1/2}]$
$L_d$	geometrischer (Setz-) Abstand zweier Abrichtdiamanten	$[\text{mm}]$
$L_s$	kinematischer Abstand zweier nachfolgender Diamanteingriffe in der Schleifscheibe	$[\text{mm}]$
$P'_d$	bezogene Wirkleistung der Abrichtspindel	$[\text{W}/\text{mm}]$
$P_{\text{Laser}}$	eingestellte Laserleistung bei der Raman-Spektroskopie	$[\text{mW}]$
$Q'_w$	bezogenes Zeitspanvolumen	$[\text{mm}^3/\text{mms}]$
$Q_{d,crush}$	Crusheranteil beim Abrichten	$[\%]$
$Q_{d,fr}$	Fräsanteil beim Abrichten	$[\%]$
$Q_{KSS}$	Kühlschmierstoffvolumenstrom	$[\text{l}/\text{min}]$
$R^2$	Bestimmtheitsmaß	$[-]$
$R_d$	Profilrundungsradius des Abrichtwerkzeugs	$[\text{mm}]$

$R_{\text{theo}}$	theoretische Rautiefe der Schleifscheibe nach [Schu97]	[ $\mu\text{m}$ ]
$R_{\text{ts}}$	Wirkrautiefe nach [Pahl53]	[ $\mu\text{m}$ ]
$S_{\text{statR}}$	Anzahl der Diamantkörner am Abrichtrollenumfang	[-]
$U_{\text{d}}$	Überdeckungsgrad	[-]
$U_{\text{d,max}}$	maximal sinnvoller Überdeckungsgrad nach [Mess83]	[-]
$V'_{\text{w}}$	bezogenes Zerspanvolumen	[ $\text{mm}^3/\text{mm}$ ]
$V_{\text{d,crush}}$	Crushieranteil des abgerichteten Materialvolumens eines Diamanteingriffs	[ $\mu\text{m}^3$ ]
$V_{\text{d,F}}$	Volumina der Bahnflanken	[ $\mu\text{m}^3$ ]
$V_{\text{d,fr}}$	Fräsanteil des abgerichteten Materialvolumens eines Diamanteingriffs	[ $\mu\text{m}^3$ ]
$V_{\text{d,G}}$	Volumenanteil des Bahngrundes	[ $\mu\text{m}^3$ ]
$V_{\text{d,ges}}$	gesamtes abgerichtete Materialvolumen eines Diamanteingriffs	[ $\mu\text{m}^3$ ]
$V_{\text{sd}}$	abgerichtetes Schleifscheibenvolumen	[ $\text{cm}^3$ ]
$V_{\text{sd ARKorn}}$	abgerichtetes Volumen pro Abrichtkorn nach [Link07]	[ $\text{mm}^3$ ]
$W_{\text{d,IV}}$	Verschleißrate am Abrichtdiamanten	[ $\mu\text{m}/\text{cm}^3$ ]
$W_{\text{theo}}$	theoretische Schleifscheibenwelligkeit in axialer Richtung nach [Verk79]	[mm]

### Lateinische Minuskel

$a_{\text{ed}}$	Abrichtzustellung je Abrichthub	[ $\mu\text{m}$ ]
$a_{\text{ed,ges}}$	Abrichtgesamtzustellung	[ $\mu\text{m}$ ]
$b_{\text{d}}$	Wirkbreite des Abrichtwerkzeugs	[mm]
$d_{\text{d}}$	Außendurchmesser der Abrichtrolle	[mm]
$d_{\text{deq}}$	Äquivalenzdurchmesser der Abrichtrolle	[mm]
$d_{\text{s}}$	Schleifscheibendurchmesser	[mm]
$e_1 - e_4$	werkzeugabhängige Exponenten nach [Link07]	[-]
$f_{\text{ad}}$	axialer Vorschub je Schleifscheibenumdrehung beim Abrichten	[mm]
$f_{\text{ad0}}$	1 mm axialer Vorschub je Schleifscheibenumdrehung beim Abrichten	[mm]
$f_{\text{rd}}$	radialer Vorschub je Schleifscheibenumdrehung beim Abrichten	[ $\mu\text{m}$ ]

$h_{hd,crush}$	mittlere Höhe des Spannungsquerschnitts des Crushieranteils	[mm]
$h_{hd,crush0}$	1 mm mittlere Höhe des Spannungsquerschnitts des Crushieranteils	[mm]
$h_{hd,fr}$	mittlere Höhe des Spannungsquerschnitts des Fräsanteils	[mm]
$h_{sd}$	Höhe des Diamanten im Eingriff	[mm]
$h_{sd,A}$	Höhe des Diamanten am Austrittspunkt	[mm]
$h_{sd,E}$	Höhe des Diamanten am Eintrittspunkt	[mm]
$i_d$	Anzahl der Abrichthübe	[-]
$i_{dd}$	Anzahl der Diamanten auf der Formrolle	[-]
$i_{sd}$	Anzahl der Eingriffe der Formrollen-Diamanten auf der Schleifscheibe	[-]
$k_{d1,1}$	spezifische Abrichtkraft bezogen auf einen Querschnitt von $1 \times 1 \text{ mm}^2$	[N/mm <sup>2</sup> ]
$l_d$	Länge der Diamanten/Diamantkörner in Umfangsrichtung	[mm]
$l_F$	Länge der Bahnflanke der Eingriffsbahn eines Diamanten	[mm]
$l_G$	Länge des Bahngrundes der Eingriffsbahn eines Diamanten nach [Schu97]	[mm]
$l_{ges}$	Gesamtlänge einer Diamanteingriffsbahn nach [Schu97, Link07]	[mm]
$l_{gd}$	geometrische Kontaktlänge der Abrichtrolle nach [Link07]	[mm]
$l_{kd}$	kinematische Abrichtkontaktlänge nach [Link07]	[mm]
$l_{kin}$	kinematische Kontaktlänge des Abrichtdiamanten	[mm]
$l_{kin,crush}$	kinematischen Kontaktlänge des Crushieranteils	[mm]
$l_{kin,fr}$	kinematischen Kontaktlänge des Fräsanteils	[mm]
$l_{kin,U}$	Umfangskomponente der kinematischen Kontaktlänge	[mm]
$l_{Rtheo}$	Länge zur Berechnung der theoretischen Rautiefe $R_{theo}$	[mm]
$m_d$	Abrichtexponentialkoeffizient	[-]
$n_d$	Abrichtrollendrehzahl	[min <sup>-1</sup> ]
$n_s$	Schleifscheibendrehzahl	[min <sup>-1</sup> ]
$q_d$	Abrichtgeschwindigkeitsverhältnis	[-]
$r_d$	Radius der Abrichtrolle	[mm]

$r_{dd}$	Radius der Abrichtrolle, Nomenklatur der Modellbildung	[mm]
$r_s$	Radius der Schleifscheibe	[mm]
$\vec{r}_{sd}$	Vektor der Drehbewegung im System Schleifscheibe – Abrichtrolle bezogen auf einen Punkt am Umfang der Abrichtrolle	[mm]
$r_{sg}$	Gesamtradius von Schleifscheibe und Abrichtrolle	[mm]
$r_{ss}$	Radius der Schleifscheibe nach dem Abrichten	[mm]
$r_{ss0}$	Ausgangsradius der Schleifscheibe	[mm]
$v_{fad}$	axiale Vorschubgeschwindigkeit beim Abrichten	[mm/min]
$v_{frd}$	radiale Vorschubgeschwindigkeit beim Abrichten	[ $\mu\text{m}/\text{min}$ ]
$v_d$	Abrichtrollenumfangsgeschwindigkeit	[m/s]
$v_s$	Schleifscheibenumfangsgeschwindigkeit beim Schleifen	[m/s]
$v_{sd}$	Schleifscheibenumfangsgeschwindigkeit beim Abrichten	[m/s]
$\bar{v}_{sd}$	durchschnittliche Schleifscheibenumfangsgeschwindigkeit beim Abrichten	[m/s]
$x$	x-Koordinate eines Abrichtdiamanten	[mm]
$x_a$	Hilfsgröße zur Berechnung des Längsschnittes der Diamanteingriffsbahn	[mm]
$y$	y-Koordinate eines Abrichtdiamanten	[mm]
$y_d$	Ordinate der Eingriffsbahn eines Abrichtdiamanten nach [Schm68]	[mm]

### Griechische Buchstaben

$\alpha$	Freiwinkel	[°]
$\beta$	Keilwinkel	[°]
$\gamma$	Spanwinkel	[°]
$\Delta l$	Versatz am Umfang der Abrichtrolle	[mm]
$\Delta l_{dt}$	Längendifferenz des Abrichters	[ $\mu\text{m}$ ]
$\Delta r_d$	Radialverschleiß der Abrichtrolle	[mm]
$\Delta V_{d1}$	Hilfsvolumen zur Berechnung der Volumenanteile	[ $\mu\text{m}^3$ ]
$\Delta V_{d11}$	Hilfsvolumen zur Berechnung zur Berechnung von $\Delta V_{d1}$	[ $\mu\text{m}^3$ ]
$\Delta V_{d12}$	Hilfsvolumen zur Berechnung zur Berechnung von $\Delta V_{d1}$	[ $\mu\text{m}^3$ ]
$\Delta V_{d2}$	Hilfsvolumen zur Berechnung der Volumenanteile	[ $\mu\text{m}^3$ ]
$\Delta V_{d21}$	Hilfsvolumen zur Berechnung zur Berechnung von $\Delta V_{d2}$	[ $\mu\text{m}^3$ ]

---

$\Delta V_{d22}$	Hilfsvolumen zur Berechnung zur Berechnung von $\Delta V_{d2}$	$[\mu\text{m}^3]$
$\Delta V_{sd}$	Differenz des abgerichteten Schleifscheibenvolumens	$[\text{cm}^3]$
$\Delta\varphi_{dd}$	Versatz am Umfang der Abrichtrolle im Bogenmaß	$[-]$
$\theta$	Hilfsgröße zur Substitution im Bogenmaß	$[-]$
$\lambda_d$	Abrichtdrehzahlverhältnis	$[-]$
$\lambda_{dt}$	Neigungswinkel des Abrichtdiamanten	$[^\circ]$
$\lambda_{\text{Laser}}$	Wellenlänge des Laser bei der Raman-Spektroskopie	$[\text{nm}]$
$\mu_d$	Reibungskoeffizient der Abrichtrolle	$[-]$
$\sigma$	Standardabweichung	[variabel]
$\varphi_{dd}$	Winkelcoordinate der Abrichtrollendrehbewegung bezogen auf einen Punkt am Umfang der Abrichtrolle im Bogenmaß	$[-]$
$\varphi_s$	Winkelcoordinate der Schleifscheibendrehbewegung im Bogenmaß	$[-]$
$\varphi_{sd}$	(Polar-)Winkel der Drehbewegung im System Schleifscheibe – Abrichtrolle bezogen auf einen Punkt am Umfang der Abrichtrolle im Bogenmaß	$[-]$
$\varphi_{ss}$	Winkelcoordinate der Schleifscheibendrehbewegung bezogen auf den Mittelpunkt der Abrichtrolle im Bogenmaß	$[-]$
$\varphi_{ss,A}$	Winkel der Schleifscheibendrehbewegung beim Austritt des Diamanten im Bogenmaß	$[-]$
$\varphi_{ss,E}$	Winkel der Schleifscheibendrehbewegung beim Eintritt des Diamanten im Bogenmaß	$[-]$



**Abkürzungen**

AE	Körperschall (engl. Acoustic Emission)
Al	Aluminium
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Aluminium(III)-oxid, eine Modifikation dessen ist Korund
B	Bor
C	Kohlenstoff
Ca	Calcium
Ca[Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ]	Anorthit nach [BotS06]
cBN	kubisch kristallines Bornitrid (engl. cubic Boron Nitride)
CD	kontinuierliches Abrichten (engl. Continuous Dressing)
CH <sub>4</sub>	Methan
Co	Cobalt
Cr	Chrom
CT	Computertomograph
CVD	Chemische Abscheidung aus der Gasphase (engl. Chemical Vapor Deposition)
Cu	Kupfer
DC	Gleichstrom (engl. Direct Current)
DEDD	trocken-funkenerosiv unterstütztes Abrichten (engl. dry electro discharge assisted dressing)
DIN	Deutsches Institut für Normung
E-Modul	Elastizitätsmodul
ECCD	elektrochemische Abrichten durch anodische Auflösung der Metallbindung (engl. Electro Chemical In-Process Control Dressing)
ECDD	kontakterosives Abrichten (engl. Electro Contact Discharge Dressing)
ECDM	elektrochemisch-funkenerosives Abrichten (engl. Electro Chemical Discharge Dressing)
ECM	elektrochemische Bearbeitung (engl. Electro Chemical Machining)
EDM	funkenerosive Bearbeitung (engl. Electro Discharge Machining)
EDX	energiedispersive Röntgenanalyse (engl. Energy Dispersive X-Ray Analysis)
EK	Edelkorund
EKw	Edelkorund weiß

---

ELID	elektrochemisches Abrichten durch Oxidation der Metallbindung (engl. Electrolytic In-Process Dressing)
EN	Europäische Norm
FE	Finite Elemente
Fe	Eisen
FEPA	europäische Vereinigung der Schleifmittelhersteller (engl. Federation of European Producers of Abrasives)
G(-Peak)	Spitzenwert des Raman-Spektrums, der sp <sup>2</sup> -gebundenen Kohlenstoff nachweist
H <sub>2</sub>	molekularer Wasserstoff
ISO	Internationale Organisation für Normung (engl. International Organization for Standardization)
K	Kalium
K <sub>α</sub>	charakteristischen Linie des Röntgenspektrums
K[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	Orthoklas nach [BotS06]
La	Lanthan
Li	Lithium
L <sub>α</sub>	charakteristischen Linie des Röntgenspektrums
Mg	Magnesium
MKD	monokristalliner Diamant
Mn	Mangan
Mo	Molybdän
Na	Natrium
Na[AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ]	Albit nach [BotS06]
Na <sub>2</sub> O	Dinatriumoxid
Nb	Niob
Nd:YAG	Neodym-dotiertes Yttrium-Aluminium-Granat (für Festkörperlaser)
Ni	Nickel
O	Sauerstoff
P	Phosphor
PKD	polykristalliner Diamant
RE	Rückstreu-Elektronen
REM	Rasterelektronenmikroskop
S	Schwefel

---

SE	Sekundärelektronen
SEDD	funkenerosives Abrichten mit Senkelektrode (engl. Sink Electro Discharge Dressing)
SG	Sol-Gel (-Korund)
Si	Silicium
SiC	Siliciumcarbid
SiCd	Siliciumcarbid dunkel (schwarz)
SiCg	Siliciumcarbid grün
SiO <sub>2</sub>	Siliciumdioxid, die Bezeichnung umfasst die Quarz-Modifikationen
spc	Steine pro Karat (engl. stones per carat)
Ti	Titan
V	Vanadium
W	Wolfram
WEDD	funkenerosives Abrichten mit Drahtelektrode (engl. wire electro discharge dressing)
$\alpha$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alpha-Aluminium(III)-oxid, Korund
$\alpha$ -SiC	Alpha-Siliciumcarbid (Hochtemperatur-Modifikation)
$\gamma$ -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gamma-Aluminium(III)-oxid, Tonerde