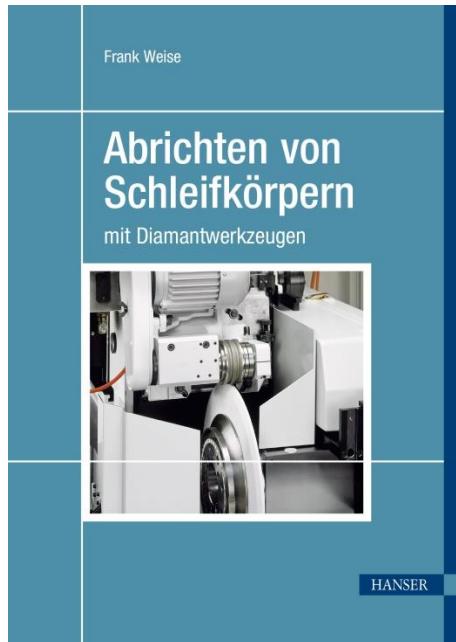


HANSER



Leseprobe

zu

Abrichten von Schleifkörpern mit Diamantwerkzeugen

von Frank Weise

Print-ISBN: 978-3-446-46972-3

E-Book-ISBN: 978-3-446-46996-9

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<https://www.hanser-kundencenter.de/fachbuch/artikel/9783446469723>
sowie im Buchhandel

Vorwort

Das Fertigungsverfahren Schleifen steht zwar in der Kritik des relativ hohen Energieverbrauchs pro zerspantem Volumen, ist aber als industrielles Feinbearbeitungsverfahren zur Zeit ohne Alternative, insbesondere durch die immer höheren Anforderungen an die Oberflächenrauheit und die einzuhaltenden Maß- und Formtoleranzen.

Dieses Buch richtet sich an alle Ingenieure, die mit dem Fertigungsverfahren Schleifen zu tun haben. Und auch an Studenten der Fachrichtung Fertigungstechnik an Hoch- und Fachhochschulen und Betriebsakademien.

Aber insbesondere an junge Ingenieur-Absolventen, die am Anfang ihrer beruflichen Laufbahn in die industrielle Produktion gekommen sind und hier das Endbearbeitungsverfahren Schleifen anwenden. Da dieses Verfahren in der akademischen Ausbildung zumeist unterrepräsentiert ist, versucht dieses Buch einige Lücken zu schließen. Es soll eine Brücke schlagen zwischen akademischer Behandlung des Fertigungsverfahrens Schleifen und der industriellen Anforderung an das Thema.

Dieses Buch soll vorrangig dazu dienen, neben der eigentlichen Schleiftechnologie die dem vorgelagerte Problematik des Abrichtens verständlich zu machen.

Dank

Ich bedanke ich mich bei der STROH Diamantwerkzeuge GmbH, deren Gesellschaftern und Geschäftsführern für die Bereitstellung der Fotos von Werkzeugen und die Unterstützung dieser Arbeit.

Mein Dank gilt Frau Prof. Dr.-Ing. habil. Barbara S. Linke und Herrn Dr.-Ing. Timo Rouven Kaul für die fachliche Begutachtung und Durchsicht der Kapitel des 1. Teiles.

Dank auch dem Institut für Maschinenelemente der Universität Stuttgart, den Firmen SMS Albstadt und GST Sierendorf (A) für die fachliche Hilfe und Überlassung des Bildmaterials, sowie auch den Co-Autoren, Herrn Steinmetz und Herrn Dr.-Ing. Matthias Baumann vom Institut für Maschinenelemente der Universität Stuttgart.

Inhalt

Vorwort	v
TEIL I	
1 Einleitung	3
2 Stehende Abrichtwerkzeuge – Überdeckungsgrad	9
2.1 Ausgangslage	9
2.2 Berechnung	12
2.3 Bedeutung des Überdeckungsgrades	14
2.4 Bestimmung der Wirkbreite	20
2.5 Grenzen des Modells des Überdeckungsgrades	21
3 Formrollen – Überdeckungsgrad	23
3.1 Ausgangslage	23
3.2 Berechnung	23
3.3 Bedeutung des Überdeckungsgrades bei Formrollen	26
3.4 Beeinflussung der Schleifkörpertopografie durch den Abrichtprozess	26
4 Profilrollen – Analogie zum Überdeckungsgrad	33
4.1 Ausgangslage	33
4.2 Darstellung der Wirkungen	33
5 Stehende Abrichtwerkzeuge – Verschleiß	45
5.1 Einkornabrichter	45
5.2 Abrichtplatten/„Fliesen“	48

5.3	MKD- und CVD-Abrichtplatten	52
5.4	Vielkornabrichter	61
6	Formrollen – Verschleiß	63
6.1	Verschleißursachen	63
6.2	Verschleißausbreitung	65
7	Profilrollen – Verschleiß und Standzeit	75
7.1	Allgemeines	75
7.2	Verschleißursachen	75
7.3	Tendenzen	76
7.4	Verschleißannahmen	76
7.5	Verschleiß und Einstellgrößen beim Abrichten	83
TEIL II		
8	Diamant-Abrichtrollen/Systematik und Begriffe	87
9	Verfahren zur Herstellung von Diamant-Abrichtrollen	89
9.1	Positiv- und Negativverfahren für Profilrollen	89
9.2	Bindung	92
10	Auslegung von Diamant-Abrichtrollen	95
10.1	Konstruktionsrichtlinien für Diamant-Profilabrichtrollen	95
10.2	Konstruktive Einzelfragen	98
11	Details zum galvanisch negativen Verfahren/Negative	101
11.1	Negativmaterial	101
11.2	Anlagerungsverfahren der Diamant-Körnung	103
12	Details zum galvanisch negativen Verfahren/ Diamant-Körnungen	105
12.1	Grundsätze zur Korngröße	105
12.2	Kornform der Diamanten in Diamant-Abrichtrollen	109

13	Details zum galvanisch negativen Verfahren/Kornanordnung	111
13.1	Grundlagen	111
13.2	Ziel der Untersuchungen – Analyse von Diamant-Abrichtrollen	114
13.3	Ergebnisse	115
13.4	Zusammenfassung	119
14	Diamant-Profilabrichtrollen – Anwendungstechnik	121
15	Diamant-Abrichtrollen/Drall und Mikrodral	129
15.1	Ausgangslage	129
15.2	Praxisbedeutung	132
16	Traganteil geschliffener Oberflächen	135
16.1	Grundlagen	135
16.2	Definitionen	136
16.3	Untersuchungen an geschliffenen Teilen	137
16.4	Ergebnisse/Fazit	142
17	Diamant-Abrichtrollen im System Schleifen	145
17.1	Montageanleitung für Diamant-Abrichtrollen	145
17.1.1	Grundsätzliches	145
17.1.2	Wechseln der Diamant-Abrichtrolle	146
17.2	Dorne und Antriebsvorrichtung für Diamant-Abrichtrollen	147
17.2.1	Inbetriebnahme	147
17.2.2	Reparaturen	148
17.2.3	Wartung	149
17.3	Konzepte der Abrichtvorrichtungen	149
17.4	Integration in die Schleifmaschine	151
18	Technologie Centerless-Schleifen	153
18.1	Grundsätzliches	153
18.2	Kugelkäfige von Gelenkwellen	154
18.3	Wasserpumpenwellen	156
18.4	Kugellager-Außenringe	158

19	Technologie Geradeinstechschleifen	161
19.1	Turboladerwellen	161
19.2	Kurbelwellen Haupt- und Hublager	163
19.3	Radlager-Außenringe	166
20	Technologie Schrägeinstechschleifen	169
20.1	Schrägkugellager-Innenringe	169
20.2	Getriebewellen	170
21	Technologie Flachschleifen	173
21.1	Führungsschienen – Linearführungen	173
21.2	Turbinenschaufeln und deren Fußprofile	176
21.3	Andere weit verbreitete Flachschleifoperationen mit Diamant-Profilabrichttrollen	178
22	Technologie Gewindeschleifen	181
22.1	Grundsätzliches	181
22.2	Technologie	182
22.3	Spezielle Abrichtwerkzeuge	189
23	Spezielle Lösungen – Abrichten von CBN-Schleifkörpern	193
23.1	Allgemeines – Besonderheiten von CBN	193
23.2	Abrichten von CBN-Schleifkörpern größerer Durchmessers ohne komplexe Profile	197
23.3	Abrichten von CBN-Schleifkörpern kleiner Durchmesser ohne komplexe Profile zum Innenschleifen (meist einfache zylindrischer Form)	198
23.4	Abrichten von komplex profilierten CBN-Scheiben	200
24	Spezielle Lösungen – Abrichten von Diamantschleifkörpern	201
24.1	Allgemeines – Besonderheiten von Diamantschleifkörpern	201
24.2	Abrichten kunstharzgebundener Diamant-Schleifkörper	202
24.3	Abrichten keramisch gebundener Diamant-Schleifkörper	202
Nachwort		205
Index		207

TEIL I

Abrichten von Schleifkörpern mit Diamant-Werkzeugen – Grundlagen

„Das Abrichten bringt den Schleifkörper in Kondition, in Schnittfähigkeit. Aber falsches Abrichten kann einen guten Schleifkörper auch verderben.“

- 1 Einleitung
- 2 Stehende Abrichtwerkzeuge – Überdeckungsgrad
- 3 Formrollen – Überdeckungsgrad
- 4 Profilrollen – Analogie zum Überdeckungsgrad
- 5 Stehende Abrichtwerkzeuge – Verschleiß
- 6 Formrollen – Verschleiß
- 7 Profilrollen – Verschleiß und Standzeit

1

Einleitung

Ohne Abrichten der Schleifwerkzeuge kann kein Schleifprozess funktionieren. Zum Thema „Abrichten von Schleifwerkzeugen“ gab es deshalb in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts eine rege Forschungstätigkeit mit zahlreichen Veröffentlichungen. An vielen Hochschulen wurden Dissertationen vergeben und ausgiebige Forschungsarbeiten durchgeführt.

Eine Expertengruppe der VDI fand sich nach 2000 zusammen, um die Ergebnisse und Veröffentlichungen zu analysieren und systematisieren. Diese Expertengruppe setzt sich zusammen aus Vertretern universitärer Einrichtungen, von Forschungseinrichtungen und aus Industrievertretern der Anwenderindustrie und der Werkzeugindustrie.

Die aus dieser Arbeit resultierende VDI-Richtlinie 3392 hat somit einen normativen Charakter hinsichtlich der Wissenschaftlichkeit, hinsichtlich der Begriffswelt und hinsichtlich der Symbolik.

Die Richtlinie besteht aus drei Teilen: VDI 3392, Blatt 1: Abrichten von Schleifkörpern/Profilieren und Schärfen, VDI 3392, Blatt 2: Abrichten von Schleifkörpern/ Abrichten von Schleifkörpern mit konventionellen Schleifstoffen und VDI 3392, Blatt 3: Abrichten von Schleifkörpern/ Abrichten von Schleifkörpern mit hochhartten Schleifstoffen.

In der Einleitung der VDI-Richtlinie heißt es:

„Das Schleifen ist aufgrund von Verschleißvorgängen am Schleifkörper ein zeitlich instationärer Prozess. Der am Schleifkorn und an der Bindung im Bereich der aktiven Schleifkörpertopografie angreifende Verschleiß bewirkt eine sich ändernde Schneidenraumstruktur, die sich wiederum auf die auftretenden Kräfte, die Werkstückoberflächenrauheit und die geometrische Genauigkeit des Werkstücks auswirkt. Zur Sicherstellung des Arbeitsergebnisses ist daher immer wieder ein Abrichtvorgang erforderlich, um die Schleiffähigkeit des Schleifkörpers wiederherzustellen. Das Abrichten von Schleifkörpern stellt einen integralen Bestandteil des Schleifprozesses dar. Über dessen Auslegung kann gezielt auf das Schleifergebnis Einfluss genommen werden.“ /1/

Beginnend mit einer Begriffsklärung zeigt die VDI-Richtlinie auf, was unter dem deutschen Wort „Abrichten“ man heute versteht.

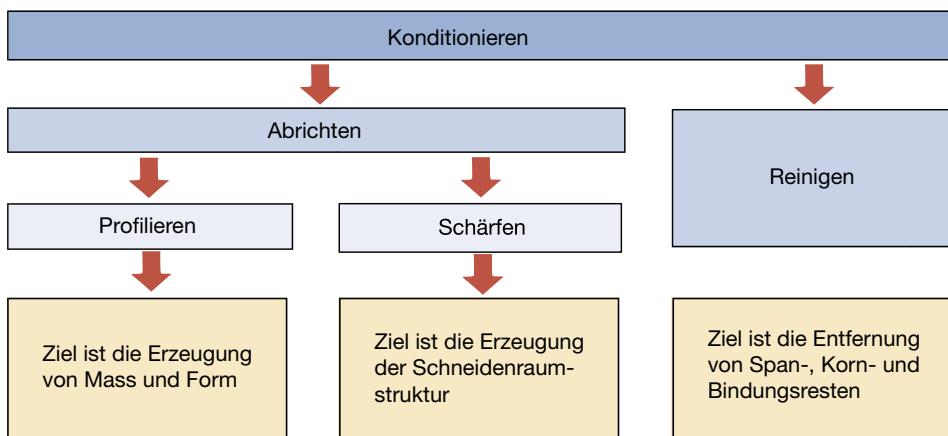


Bild 1.1 Zielsetzung beim Konditionieren von Schleifkörpern /1/

Es wird hier der Begriff des Konditionierens eingeführt, welcher alle Prozesse, die der Schaffung oder der Regeneration der Schleiffähigkeit von Schleifkörpern dienen, zusammenfasst, also die Aufgaben des Abrichtens und des Reinigens enthält. Ziel des vorliegenden Buches ist es vorrangig, die bekannten Erkenntnisse aus der Literatur nicht ein erneutes Mal wiederzugeben, sondern nur insofern zu erklären, wie es für das weitere Verständnis der Zusammenhänge notwendig wird. Diese Grundlagen werden im ersten Buchteil zusammengefasst. Der zweite Buchteil beschäftigt sich darauf aufbauend mit Abrichtstrategien und üblichen Lösungen innerhalb der bekannten Schleifverfahren.

Das Abrichten kann mit stehenden Werkzeugen, oder auch mit rotierenden Werkzeugen durchgeführt werden, Tabelle 1.1 und Tabelle 1.2. Die gebräuchlichsten Abrichtwerkzeuge bestehen aus Diamant, dem härtesten bekannten Material. Daneben sind aber auch Abrichttechniken mit diamantfreien Werkzeugen bekannt.

Tabelle 1.1 Stehende Abrichtwerkzeuge

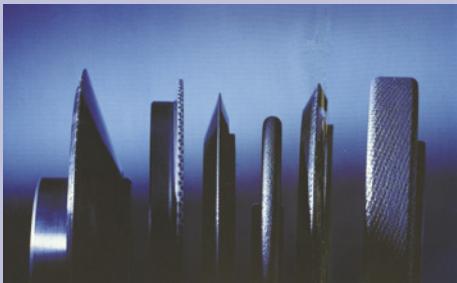
	Einkornabrichter mit Rohdiamanten (Oktaederform oder Dodekaederform) oder spitz geschliffenen Diamanten	
	Abrichtplatten	Kornplatten Nadelplatten MKD-Abrichter CVD-Abrichter
	Profildiamanten mit geschliffenen Diamanten in Form von Winkel und Radius	

Tabelle 1.1 Stehende Abrichtwerkzeuge (*Fortsetzung*)

	Abrichträddchen Einreihige Abrichträddchen Mehrreihige Abrichträddchen	
	Vielkornabrichter mit gesetzten größeren Diamanten	
	Feinkornabrichter mit durchsetztem Volumenbelag aus feineren Diamanten	

 Three diamond block abrasives of different sizes and shapes, labeled 'ROH 80/60' and 'ROH 80-45' on the larger ones. They are shown against a blue background.	Diamant-Blockab-richter	Mit Naturdiamanten Mit MKD-Stäbchen Mit CVD-Stäbchen
--	-------------------------	--

Tabelle 1.2 Rotierende Abrichtwerkzeuge

 A close-up image of a diamond profile grinding wheel, showing its textured surface and metallic structure.	Diamant-Profil-abrichtrollen	
 A row of diamond form滚轮, showing their various profiles and sizes.	Diamant-Formrollen	
 A diamond top abrasive, showing its cylindrical shape and textured surface.	Diamant-Topf-abrichter	

Die folgenden Kapitel im 1. Teil beschäftigen sich mit der Theorie des Abrichtens. Insbesondere wird der Überdeckungsgrad betrachtet. Er stellt eine relativ einfache Erklärung zum Abrichten dar und ist vor allem im Werkstattgebrauch praktikabel.

Literatur

/1/ Abrichten von Schleifkörpern, VDI Richtlinie 3392, Blatt 1, VDI, Düsseldorf 2017

2

Stehende Abrichtwerkzeuge – Überdeckungsgrad

■ 2.1 Ausgangslage

Zur Erklärung der Wirkungen beim Abrichten bedient man sich seit Langem des Modells des Überdeckungsgrades. Dieses einfach zu verstehende Modell genügt weitgehend bei den Betrachtungen an stehenden Abrichtwerkzeugen, jedoch nicht mehr für Diamant-Formrollen und Diamant-Profilrollen, wie in den späteren Kapiteln dargelegt.

Es ist eine Aufgabe des Abrichtprozesses, am Schleifkörper eine möglichst hohe Anzahl von statischen beziehungsweise dynamischen Schneiden zu erzeugen. Andererseits würde der Schleifkörper im Schleifprozess keine Spanabnahme gestatten.

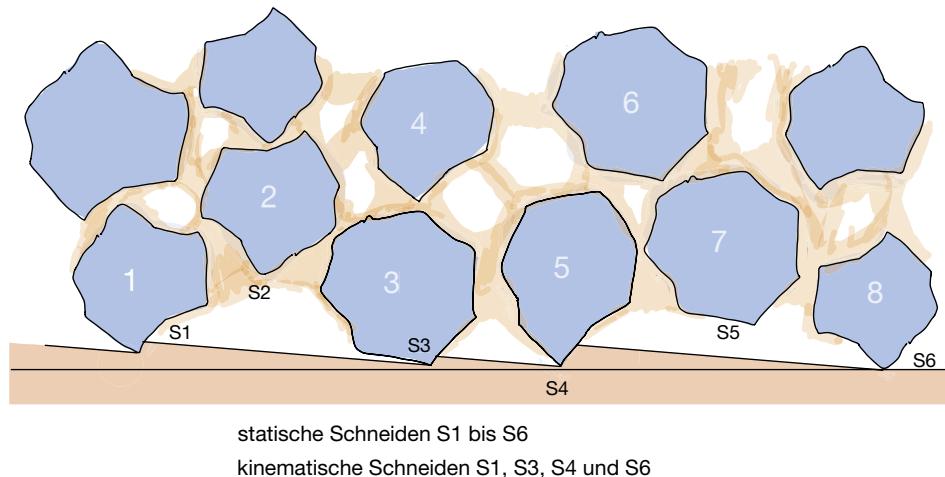


Bild 2.1 Darstellung der statischen und der kinematischen Schneiden am Schleifkörper, nach /1/ in /10/ und /11/

Statische Schneiden sind die nahe der Oberfläche des Schleifkörpers statistisch verteilten und abzählbaren Schneiden. Sie müssen nicht unbedingt am Schleifprozess teilnehmen, wenn sie eine etwaige Tiefenstaffelung besitzen. Unter der zusätzlichen Wirkung des Vorschubes zeigt sich, welche Schneiden tatsächlich an der Spanabnahme beteiligt sind. Man nennt diese dann kinematische Schneiden. Das Bild 2.1 verdeutlicht dieses. So sind die Schneiden S1 bis S6 statische Schneiden an den Körnern 1 bis 8 und nur die Schneiden S1, S3, S4 und S6 sind auch kinematische Schneiden.

Im einfachsten Fall wird die Erzeugung der statischen und dynamischen Schneiden bei der Anwendung von stehenden Abrichtern durch die Erzeugung einer Wendel auf dem Umfang des Schleifkörpers erreicht. Es muss der um einen gewissen Betrag zugestellte Abrichter auf dem rotierenden Schleifkörper also durch eine Querbewegung eine umlaufende schraubenförmige Rille erzeugen. Dies erfolgt ähnlich einem Drehprozess, Bild 2.2.

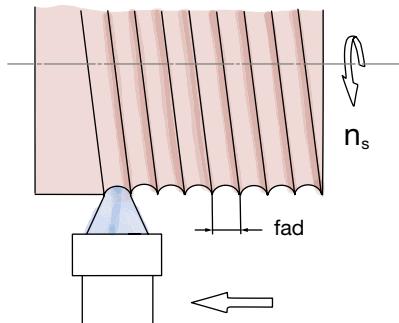


Bild 2.2
Erzeugung der Abrichtvorschubrillen auf einem
Umfangsschleifkörper (schematisch)

Ein Gedankenspiel soll helfen, den Funktionsmechanismus der Schneidenausbildung zu beleuchten:

Man stelle sich vor, ein derart abgerichteter Schleifkörper, zylindrisch mit einer umlaufenden Wendel, wird in Eingriff gebracht in ein schmales Blech ohne Einstechvorschub. Das wäre theoretisch, wenn der Schleifkörper stehend in das Blech mit der Tiefe von a_{ed} eingedrückt würde. Lässt man nun den Schleifkörper um eine Umdrehung drehen, so wäre der Abrichtbetrag a_{ed} in einer Schleifkörperumdrehung abgetragen.

Die kinematischen Schneiden liegen hier in der Darstellung nach Bild 2.3 alle auf der rechten Seite der Vorschubwendel. Durch diese Wendel liegen sie in einer Seitenstaffelung vor. Nach einer Schleifkörperumdrehung ist das Material abgetragen und es gibt keine Schneiden mehr im Eingriff. Der Prozess des Schleifens würde so enden.

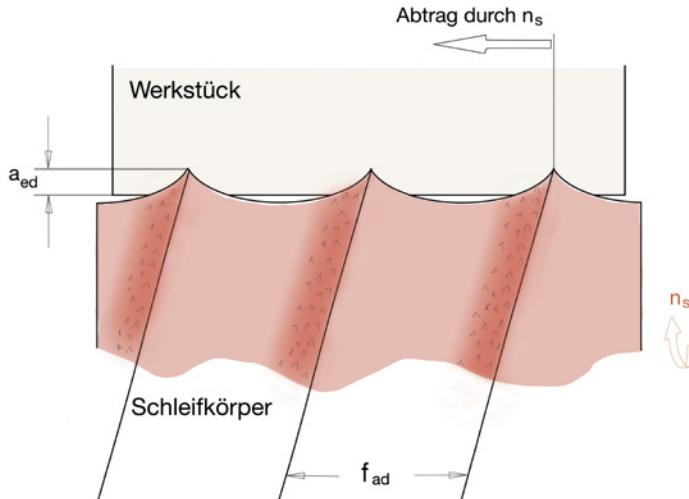


Bild 2.3 Theoretische Betrachtung zu den kinematischen Schneiden

Etwas anders verläuft der Prozess beim Schleifen eines runden Teils. Drückt man den Schleifkörper wieder um den Betrag a_{ed} ins Teil ein und lässt den Schleifkörper um eine Umdrehung rotieren, hängt es vom Drehzahlverhältnis zwischen Werkstück und Schleifkörper ab, wie groß die abgetragene Zone ist. Man braucht entsprechend diesem Drehzahlverhältnis eine Anzahl von Schleifkörperumdrehungen, um einen Betrag a_{ed} in einer Werkstückumdrehung abzutragen. Nach dieser einen Werkstückumdrehung ist der Abtragprozess genauso beendet wie im ersten Fall des Schleifens in ein dünnes Blech.

Das ändert sich mit dem Einstechvorschub. Zur Beschreibung dient das Bild 2.4. Schwarz dargestellt ist die Umfangsrichtung der Schleifscheibe (Pfeil). In einer Umdrehung wird an dieser eine Spitze der Wendel, das Tal und die nächste Spitze erreicht. Dies entspricht dem Übergang von Punkt 1 zu Punkt 2. Mit dem Einstechvorschub f_{rd} dringt die Schleifscheibe jedoch immer tiefer in das Werkstück ein. Somit werden immer wieder neue kinematische Schneiden an den rechten Seiten der Vorschubwendel hervorgebracht. Zur Seitenstaffelung der Schneiden kommt jetzt eine gewisse Tiefenstaffelung hinzu. So wird der Schleifprozess kontinuierlich aufrechterhalten, bis sich die Spitzen der Vorschubwendel durch Verschleiß abgebaut haben. Dann verliert der Schleifkörper rapide die Ausbildung kinematischer Schneiden. Es ist erneut abzurichten.

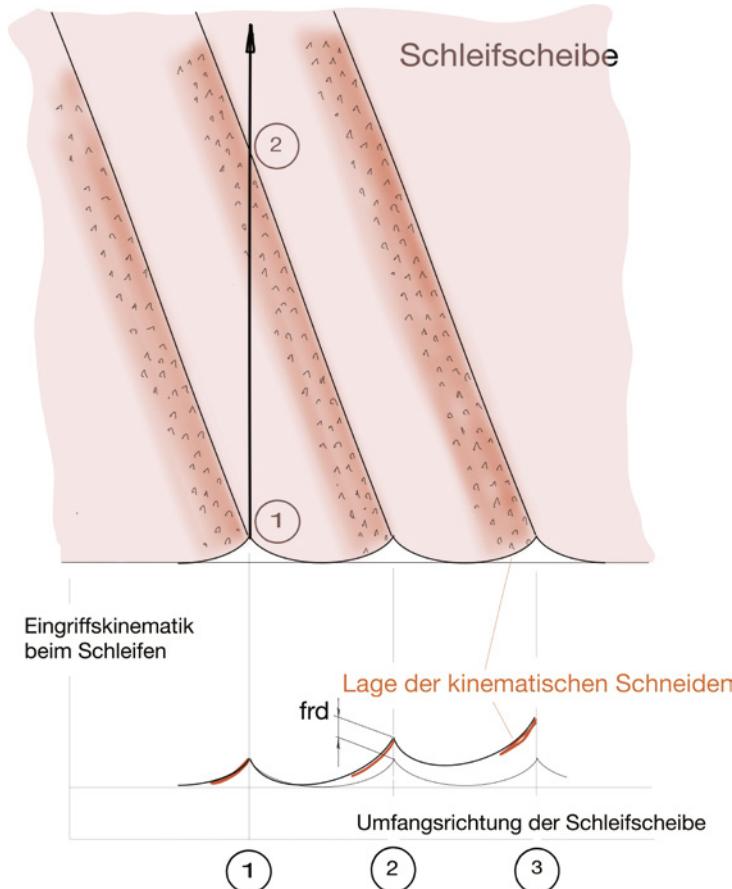
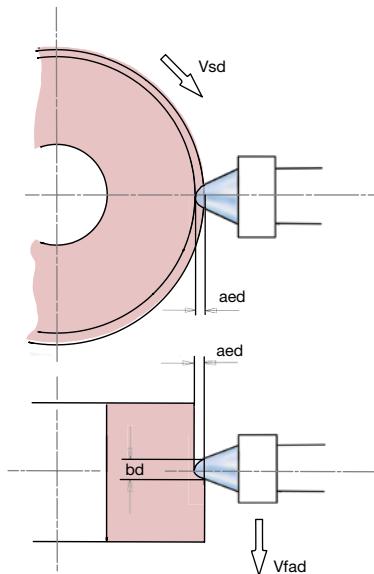


Bild 2.4 Generierung der kinematischen Schneiden

■ 2.2 Berechnung

Die wichtigsten Stellgrößen beim Abrichten mit stehenden Diamantabrichtern sind der Überdeckungsgrad und die Abrichtzustellung.

Der Abrichtüberdeckungsgrad gibt an, wie oft ein an der Umfangsfläche des Schleifkörpers liegender Punkt (oder ein Schleifkorn) während des Abrichtens mit dem Abrichtwerkzeug in Kontakt kommt.



$$U_d = b_d / f_{ad}$$

U_d	Überdeckungsgrad	(-)
a_{ed}	Abrichtbetrag	(mm)
f_{ad}	Abrichtvorschub	(mm/U)
V_{fad}	axiale Abrichtvorschubgeschwindigkeit	(mm/min)
V_{sd}	Abrichtumfangsgeschwindigkeit	(m/s)
n_{sd}	Schleifscheibendrehzahl beim Abrichten	(min ⁻¹)
b_d	Wirkbreite des Abrichtwerkzeugs	(mm)

Bild 2.5 Berechnung des Überdeckungsgrades /3/, /12/

Demgemäß berechnet sich der Überdeckungsgrad aus dem Verhältnis von Wirkbreite b_d des Abrichters zum Quervorschub f_{ad} , Formel 2.1

$$U_d = b_d / f_{ad} \quad (2.1)$$

Der Quervorschub f_{ad} in mm/Umdrehung ergibt sich aus der Vorschubgeschwindigkeit des Abrichters v_{fad} und der Schleifkörperdrehzahl n_{sd} , Formel 2.2

$$f_{ad} = v_{fad} / n_{sd} \quad (2.2)$$

Beim Abrichten konventioneller Schleifkörper mit stehenden Abrichtwerkzeugen werden im Allgemeinen Überdeckungsgrade von 2 bis 6 für Vorschleifoperationen angewendet und von 8 bis 16 für Feinschleifoperationen.

■ 2.3 Bedeutung des Überdeckungsgrades

Von nicht zu vernachlässigender Wichtigkeit ist die Bestimmung der tatsächlichen Wirkbreite des Abrichters. Sie ist zunächst mit der Form des Werkzeugs im Kontaktbereich vorgegeben, unterliegt allerdings mit dem Verschleiß auch fortwährenden Veränderungen.

Minke beschreibt die Verhältnisse in /3/ sehr treffend:

„In Abhängigkeit vom Überdeckungsgrad und dem Wirkprofil der Abrichtschneide kann es zu Abweichungen vom ideal ebenen Schleifscheibenprofil kommen. Beim Abrichten mit Überdeckungsgraden $U_d < 1$ wird in der Schleifscheibenoberfläche eine sich nicht überdeckende, fortlaufende wendelförmige Abrichtkerbe erzeugt. /2/ Dies ist insbesondere beim Einsatz von Einkorndiamanten im Ausgangszustand aufgrund der spitz zulaufenden Oktaederform des Diamanten zu erwarten ($b_d = 0$). In diesem Fall wird ein Profil auf der Scheibenoberfläche erzeugt, das nur noch in unspezifischer Weise von U_d abhängig ist, wie es in idealisierter Weise in (hier) Bild 2.6 veranschaulicht ist. Am Beispiel eines ideal-kreisbogenförmigen Abrichtschneidenprofils ergibt sich für $U_d = 1$, (d. h. die Wirkbreite b_d entspricht genau dem Abrichtvorschub f_{ad}) nach einem Abrichthub eine theoretische Profiltiefe $R_{t\ th}$, die genau der Abrichtzustellung a_{ed} entspricht. Für den Fall $U_d > 1$ entstehen entsprechend kleinere Scheiben-Profiltiefen: für $U_d = 1$ kommt es zur bereits erwähnten Ausbildung von gewindeähnlichen Profilkonturen auf der Scheibenoberfläche, die sich nicht überdecken. Die zugeordnete Profiltiefe entspricht ebenfalls genau der Abrichtzustellung a_{ed} . Die theoretische Rautiefe $R_{t\ th}$ stellt sich nach König und Knop /4/ bei kreisförmig angenommenem Wirkprofil des Abrichtwerkzeuges näherungsweise (zu Formel 2.3) dar. Mit dieser Beziehung wird der große Einfluss des Überdeckungsgrades, der sich quadratisch auf die theoretische Rautiefe der Schleifscheibe $R_{t\ th}$ auswirkt, verdeutlicht.“

Minke in /3/

$$R_{t\ th} = a_{ed} / U_d^2 \quad (2.3)$$

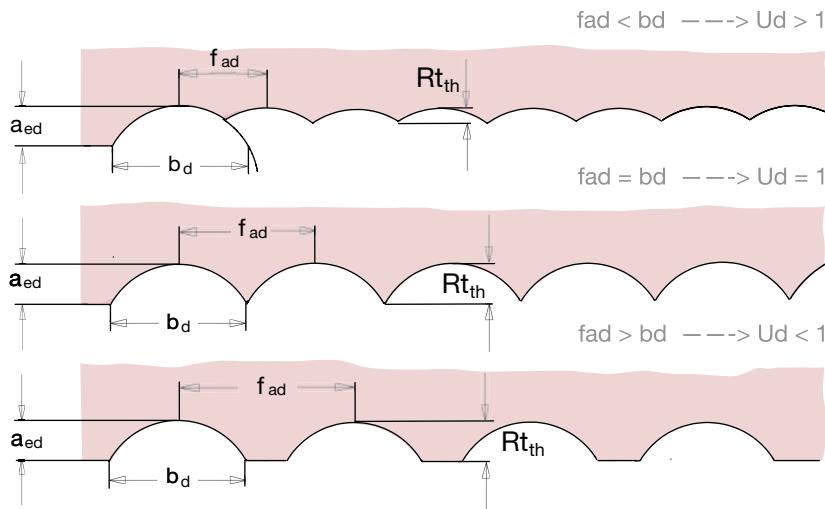


Bild 2.6 Schematische Darstellung der theoretischen Schleifscheiben-Rautiefe bei unterschiedlichen Überdeckungsgraden U_d , nach /2/, in Minke /3/ und /11/

Die theoretische Rautiefe ist zwar nur eine theoretische Rechengröße, deren Wert nicht zahlenmäßig, aber doch tendenziell mit der tatsächlichen Oberflächenrauheit der geschliffenen Oberfläche zusammenhängt. Die tatsächliche zu messende Oberflächenrauheit fällt ebenso mit dem Überdeckungsgrad degressiv ab, Bild 2.7.

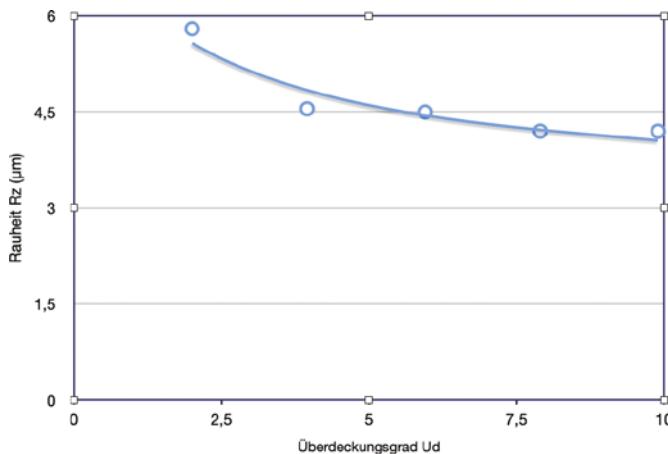


Bild 2.7 Rauheit am Werkstück über dem Überdeckungsgrad, Werte aus /7/

Weiter bei Minke /3/:

„Der Überdeckungsgrad U_d hat auf die Ausbildung der Schleifscheiben-Oberflächen-Topografie einen entscheidenden Einfluss, da es mit zunehmenden Werten von U_d zur Ausbildung einer steigenden Anzahl von statischen und kinematischen Schneidenzahlen und damit zu einer feiner abgerichteten Schleifscheibenwirkfläche kommt“ (Bild 2.8).

Minke in /3/

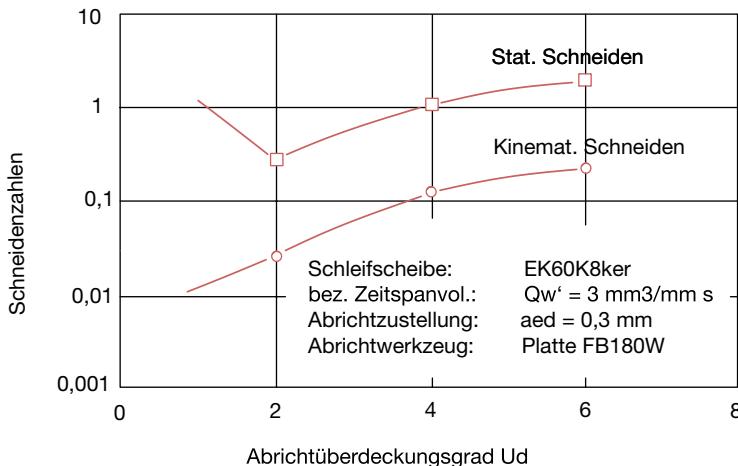


Bild 2.8 Schneidenzahlen und Überdeckungsgrad /5/ in /3/

Mit dem Überdeckungsgrad werden auch die Relationen der Häufigkeiten zwischen Splittern, Ausbruch und Glättung am Einzelkorn verschoben.

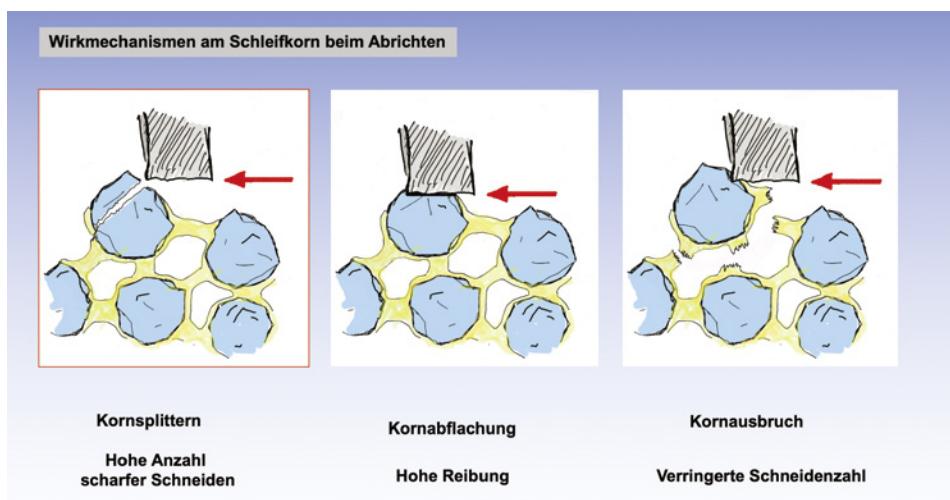


Bild 2.9 Wirkmechanismen am Schleifkorn beim Abrichten

Cinar und Linke haben ein tribologisches System auf den Abrichtprozess angewendet, /6/ und /7/. Unter anderem berechnen sie die Abrichtkornstoßzahl. Darunter ist die Anzahl der Kollisionen eines einzelnen Schleifkorns mit dem Abrichter im Abrichtprozess zu verstehen, bezogen auf die Zeiteinheit einer Sekunde. Diese Abrichtkornstoßzahl repräsentiert die Häufigkeit der Reibvorgänge zwischen Schleifkorn und Abrichtkorn.

Weiterführend lässt die Betrachtung auch die Berechnung der Eingriffszahl zu. Diese gibt an, wie oft ein einzelnes Schleifkorn während des Abrichthubs insgesamt getroffen wird. Also ist für stehende Werkzeuge die Eingriffszahl gleich dem Überdeckungsgrad. Damit gibt es einen Zusammenhang mit der erzeugten Wirkrautiefe der Schleifscheibe und allgemein gesagt mit deren Schleifverhalten. Denn bei Überschreiten einer gewissen Stoßenergieschwelle führt ein Abrichtstoßvorgang zum Splittern des Schleifkornes. Und je öfter ein Schleifkorn getroffen wird, desto mehr splittert es. Was im umgekehrten Zusammenhang mit der Wirkrautiefe steht.

Aus dieser Betrachtung folgt auch für die Anwendung bestimmter Überdeckungsgrade, was weiter oben bereits gesagt wurde. Sogar bei Vorschleifoperationen sollte man nicht unter $U_d = 2$ gehen, da zumindest zwei Splittervorgänge am Schleifkorn erfolgen sollten. Und Werte unter 1 geben gar keinen Sinn, da ein Großteil der Schleifkörner überhaupt nicht getroffen wird.

Die Frage ist, kann man überhaupt in einem realen Schleifprozess auf Werte unter 1 kommen? Ja man kann, betrachte man nur einmal einen sehr scharfen Einkornabrichter. Bekanntlich lässt sich ein Einkornabrichter mehrfach verwenden, indem man nach dem Verschleiß einer Diamantspitze diesen „umsetzt“. Darunter ist zu verstehen, dass der Diamant ausgefasst wird, in der Regel ausgelötet. Danach wird der Diamant in eine neue Fassung mit der nächsten unverbrauchten Spalte wieder eingelötet. Das kann so lange gehen wie unverbrauchte Spitzen vorhanden sind. Theoretisch sind an einem oktaederförmigen Diamanten 6 Spitzen vorhanden. Sind diese alle aufgebraucht und der Stein noch groß genug, schleift man die verbrauchten Spitzen nach.

Und hier kann das Problem auftauchen, denn die sehr spitz geschliffene Spalte hat an sich keine Wirkbreite b_d . Insbesondere wenn die Abrichtzustellung sehr klein ist, zieht der Diamant lediglich eine Furche ohne Überdeckung in die Schleifscheibe. Es besteht allgemein stets der Drang, die Schleif- und Abrichtzeiten so gering wie möglich zu halten. Also fährt man beim Abrichten auch mit möglichst großen Vorschüben des Abrichters. Das senkt in Folge den Überdeckungsgrad. In Kombination – spitzer Abrichter – geringe Abrichtzustellung – hoher Abrichtvorschub – läuft man schnell in die Falle $U_d < 1$.

Es gibt aber auch in der Literatur einen Hinweis auf einen sinnvollen maximalen Überdeckungsgrad, nämlich in Form der Formel nach Messer /8/:

$$U_{\text{dmax}} = \text{Körnung in Mesh} / 15 \quad (2.4)$$

Sie trägt der bereits in Bild 2.7 dargestellten Tatsache Rechnung, dass ab einem bestimmten Überdeckungsgrad keine weitere Verbesserung der Oberflächenrauheit mehr eintritt. Dieses Verhalten ist von der Schleifkörperkörnung abhängig.

Tabelle 2.1 Maximaler Überdeckungsgrad für übliche Schleifkörperkörnungen, nach der Formel von Messer /8/

Körnung (Mesh)	Äquivalent Körnung (μm)	U_{dmax}
46	385	3,1
54	300	3,6
60	274	4,0
70		4,7
80	194	5,3
90		6,0
100	137	6,7
120	115	8,0
150	97	10,0
180	81	12,0
200	68	13,3
220	57,5	14,7
240	44,5	16,0

Innerhalb der sinnvollen Werte von über 1 bis zu den Werten nach Tabelle 2.1 hat man nun eine breite Palette an Werten für die Wahl des Überdeckungsgrads zur Verfügung. Die Frage ist, welche Werte im realen vorliegenden Schleifprozess zu wählen sind. Dabei ist vorrangig ein zeitlich stationärer Zustand anzustreben.

Alle bisherigen Betrachtungen bisher bezogen sich auf die Wirkung des Überdeckungsgrades auf den Schleifprozess mit einer neu abgerichteten Schleifscheibe. Von Weinert /9/ wurde aber bereits 1976 festgestellt, dass der Einfluss des Abrichtens mit steigender Schleifdauer verlorengeht und die Oberflächenrauheit der geschliffenen Fläche gegen einen bestimmten annähernd stationären Wert zustrebt, Bild 2.10.

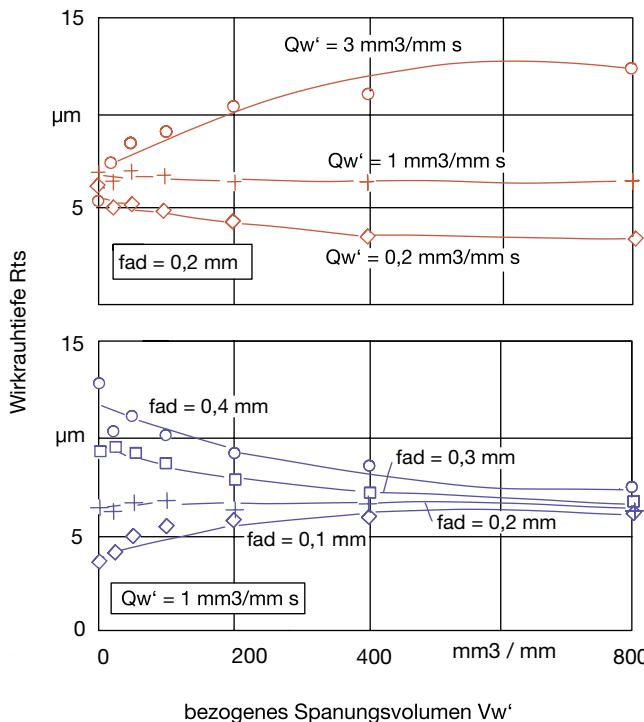


Bild 2.10 Wirkrautiefe R_{ts} über der Schleifdauer bzw. dem abgeschliffenen Materialvolumen V_w' für verschiedene Abrichtvorschübe und spezifische Zeitspanvolumen nach /9/, aus /3/

Es wäre resultierend daraus also empfehlenswert, den Überdeckungsgrad so zu wählen, dass er mit dem quasi-stationären Zustand korrespondiert. Für den Prozess nach Bild 2.10 hieße das, bei einem Zeitspanvolumen von Q_w' von $1 \text{ mm}^3/\text{mm s}$ einen Vorschub $f_{ad} = 0,2 \text{ mm}/\text{U}$ des Abrichters zu fahren, was hier einem Überdeckungsgrad U_d von etwa 9 entspricht und eine Wirkrautiefe von etwa $7 \mu\text{m}$ ergibt.

Bild 2.10 zeigt jedoch auch, dass der quasi-stationäre Zustand vom spezifischen Zeitspanvolumen Q_w' beeinflusst wird, siehe oberer Teil des Diagramms. Es spiegelt die bekannte Tatsache wider, dass allgemein die Rauheit mit dem spezifischen Zeitspanvolumen ansteigt. Die oberen Kurven sind mit dem Vorschub von $f_{ad} = 0,2 \text{ mm}/\text{U}$ aufgenommen worden, dem Vorschub, bei dem im unteren Teil des Diagramms gerade bei $Q_w' = 1 \text{ mm}^3/\text{mm s}$ die Anfangsrautiefe in etwa mit der quasi-stationären Rauheit übereinstimmt, (bei etwa $7 \mu\text{m}$). Zum Vergleich, für das spezifische Zeitspanvolumen Q_w' von $3 \text{ mm}^3/\text{mm s}$ liegt der quasi-stationäre Zustand bei ca. 12 bis $13 \mu\text{m}$ Wirkrautiefe. Erwartungsgemäß müsste demnach die Scheibe für $Q_w' = 3 \text{ mm}^3/\text{mm s}$ mit etwa $f_{ad} = 0,4 \text{ mm}/\text{U}$ abgerichtet werden, um ebenso den quasi-stationären Zustand zu erreichen.

■ 2.4 Bestimmung der Wirkbreite

Ein besonderes Problem existiert, will man den Wert des Überdeckungsgrades nicht nur überschlägig bestimmen, sondern exakt berechnen. Die Unsicherheit resultiert aus der unsicheren Bestimmung der Wirkbreite des Abrichters.

Die Form des Abrichters ist im einfachsten Fall ein Radius. Aber schon der klassische Einkorndiamant verkompliziert die Ermittlung der Wirkbreite. Vielkornwerkzeuge machen sie fast unmöglich. Genaue Erfassungen der Wirkbreite sind daher durch eine Profilausmessung vorzunehmen.

Man geht dazu wie folgt vor: Man sticht in eine Umfangsschleifscheibe ohne Querbewegung mit dem zu vermessenden Abrichtwerkzeug eine Rille ein, die Tiefe sollte mindestens das Doppelte der später anzuwendenden Zustellung betragen. Danach schleift man mit dieser so „profilierten“ Scheibe ein Teil, flach oder rund ist nicht von Wichtigkeit. Im Anschluss ist das Teil mit einem Profilmessgerät zu vermessen. Der Wert für die Wirkbreite b_d ist in einer Schnitttiefe gleich der Abrichtzustellung a_{ed} abzulesen, Bild 2.11.

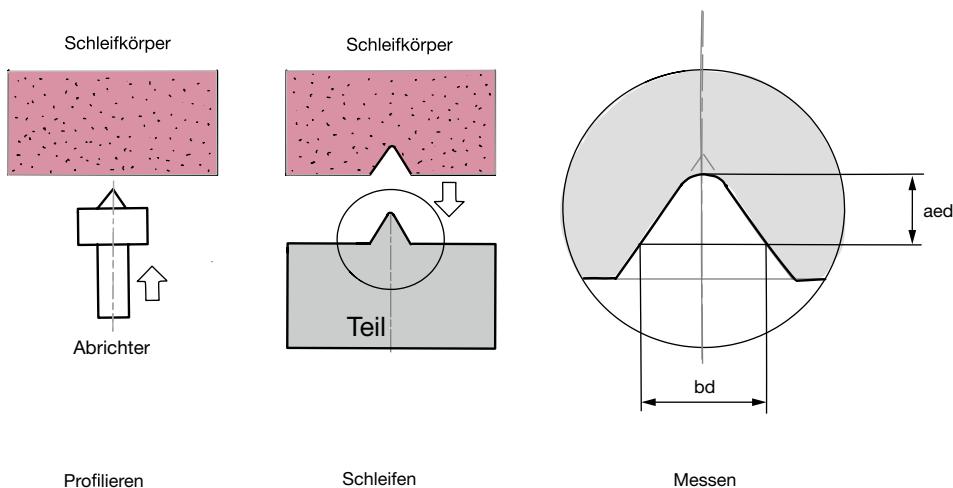


Bild 2.11 Exakte Bestimmung der Wirkbreite b_d

■ 2.5 Grenzen des Modells des Überdeckungsgrades

Aber ist das Modell über die Wirkbreite ausreichend?

Für Einkorndiamanten und Profildiamanten gilt es sicher ohne große Einschränkungen. Und auch für Abrichtplatten, Korn- oder Nadelfliesen, ist praktisch bisher nur die Überdeckungsgradberechnung über die Wirkbreite herangezogen worden. Abrichtplatten besitzen jedoch mehrere hintereinander angeordnete Diamanten, gleich ob Körner, Nadeln oder CVD-Einsätze. Und auch in Vielkornabrichtern liegen, allerdings zufällig verteilt, mehrere Diamanten in Umfangsrichtung der Schleifscheibe hintereinander. Diese bringen zusätzlich zum „vorne“ liegenden Korn weitere Korneingriffe zur Schleifscheibe.

Nach Linkes Eingriffszahl müsste damit für diese ein weiterer Einfluss auf die Schleifkörpertopografie vorliegen, abhängig davon wie viele Körner in der Abrichtplatte hintereinander im Eingriff sind. Denn mehrere Körner hintereinander erhöhen die Eingriffszahl als Faktor. Genauso wie ein kleinerer Quervorschub des Abrichters f_{ad} (höherer Überdeckungsgrad U_d) zu vermehrten Eingriffszahlen führt, vervielfältigen auch mehrere Diamanten hintereinander im Abrichtwerkzeug die Eingriffszahl. Und höhere Eingriffszahlen führen, wie bereits dargelegt, zu geringeren Oberflächenrauheiten der geschliffenen Oberfläche.

Weiterführende Betrachtungen, auch unter Einbeziehung des Verschleißes erfolgen im Kapitel „Stehende Werkzeuge – Verschleiß“.

Mit ihrem tribologischen Betrachtungsmodell hat Linke /7/ auch wichtige Zusammenhänge zum Einfluss des Abrichtprozesses auf das Schleifkörpergefüge erhalten. Reale Versuche als auch FEM-Berechnungen ergaben, dass die sich unter üblichen Abrichtbedingungen durch die Normal- und Tangentialkraft einstellenden Zugspannungen die kritischen Zugspannungen in Korn und Bindungsbrücken übersteigen können. Das rückt insbesondere die Abrichtnormalkraft in den Mittelpunkt der Betrachtungen. Hohe Normalkräfte können hierbei sowohl aus geringem Überdeckungsgrad U_d als auch aus hohem Abrichtbetrag a_{ed} resultieren. Entscheidend ist nur die Höhe der Kraft und die Kraftfortpflanzung in die Tiefe des Schleifkörpers. Linke gelingt der Nachweis, dass infolge der Abrichtkräfte die Beeinflussung des Schleifkörpers durch Mikrorisse und Zerrüttung über mehrere Kornlagertiefen sich erstrecken kann, /7/.

Konsequenterweise ist aus dieser Erkenntnis heraus zu folgern, das Schleifkörpergefüge beim Abrichten nicht mechanisch zu überlasten. Oder anders gesagt, besser in zwei Durchgängen mit geringem Abrichtbetrag a_{ed} und höherem Überdeckungsgrad U_d abzurichten als einmal mit hoher Abrichtzustellung a_{ed} .

Die Betrachtung zum Überdeckungsgrad oder seiner analogen Größen beim Abrichten mit rotierenden Werkzeugen folgt ebenso in den nächsten Kapiteln.

Literatur

- /1/ Steffens, K.: Thermomechanik des Schleifens, Dissertation RWTH Aachen, 1983
- /2/ König, W., Messer, J.: Beeinflussung von Topografie und Prozeßverhalten keramisch gebundener Schleifscheiben durch die Abrichtbedingungen, Industrie Diamanten Rundschau, 15 (1981) 2
- /3/ Minke, E.: Handbuch zur Abrichttechnik, Dischner Druck und Verlag, 1999
- /4/ König, W., Knop, M.: Automatisierung beim Schleifen, VDI-Zeitschrift 130 (1988) 9
- /5/ König, W., Salje, E. u. a.: Analyse der Zusammenhänge zwischen Schleifscheibe, Maschineneinstellgrößen und Arbeitsergebnis beim zweistufigen Außenrund-Einstechschleifen, VDW-Bericht A4473, 1981
- /6/ Cinar, M.: Einsatzvorbereitung und Verschleißentwicklung keramisch gebundener CBN-Schleifscheiben Dissertation Universität Bremen, 1994
- /7/ Linke, B.S.: Wirkmechanismen beim Abrichten keramisch gebundener Schleifscheiben, Dissertation RWTH Aachen, 2007
- /8/ Messer, J.: Abrichten konventioneller Schleifscheiben mit stehenden Werkzeugen, Dissertation, RWTH Aachen, 1983
- /9/ Weinert, K.: Die zeitliche Änderung des Schleifscheibenzustandes beim Außenrund-Einstechschleifen, Dissertation TU Braunschweig, 1976
- /10/ Seminarunterlagen Basisseminar Schleiftechnik, WZL Aachen GmbH, 10. und 11.4.2019
- /11/ Klocke, F.: Fertigungsverfahren 2, Zerspanen mit geometrisch unbestimmter Schneide, 5. Auflage, Springer Vieweg Verlag, 2017
- /12/ Abrichten von Schleifkörpern, VDI Richtlinie 3392, Blatt 1, VDI, Düsseldorf 2017

Index

A

Abrasivverschleiß 56
Abrichtkornstoßzahl 17, 26
Abrichtnormalkraft 28
Abrichtplatte 49
Abrichtrolle 33
Abrichtrollentoleranz 96
Abrichtstrategie 197
Abrichttöpfchen 199
Abrichtüberdeckungsgrad 12, 24
Abrichtwerkzeuge 45
Abtragsverhältnis 38
Adhäsion 56
Adhäsionsschichten 57, 75
Amplitudenverteilung 111
Anlagerungsverfahren 103
Auflageschiene 153
Ausrollumdrehungen 125

B

Bindungsmaterial 92
Bindungsverschleiß 51, 77
Blechbiegewerkzeuge 179

C

CBN-Schleifkörper 193
CD-Abrichten 177
Centerless 153
Centerless-Durchgangsschleifen 153
Centerless-Einstechschleifen 153
Crushieranteil 28, 41

Crushieren 203
Crushierrolle 203
CVD 52
CVD-Abrichtverschleiß 57

D

Dehdorn 150
Demontage 148
Diamant-Abrichtrollen 84
Diamant-Formrollen 87
Diamant-Profilabrichtrolle 34
Diamant-Profilabrichtrollen 40
Diamant-Profilrollen 87
Diamantrollen-Aufnahmedorn 145
Diamantscheiben 201
Diamant-Schleifkörper 202
Diffusion 56
Distanzbuchsen 96, 146
Drall 129
Durchmessergleichheit 98

E

Einbettungsverfahren 114
Eingriffsbahnen 23
Eingriffszahl 17, 26, 36
Einkornabrichter 17
Einkorndiamant 45
Einrichtprozess 151

F

Flugzeugturbinen 176
Formrollen 23, 63
Fräsannteil 28
Fußprofilschleifen 176

Kugelgewindespindeln 183
Kugelkäfig 154
Kugellager-Außenringe 158
Kurbelwelle 129
Kurtosis 112, 140

G

Gegenlauf 123
Gelenkwellen 154
Geschwindigkeitquotienten 121
Geschwindigkeitsverhältnis 122
Getriebewellen 170
Gewindebohrer 108, 189
Gewindeformer 191
Gewindeschleifen 181
Gleichlauf 123
Grafitisierung 56
G-Wert 53

Laufbahnschleifen 108
Linearführungen 173

M

Makrodrall 129
Materialanteil 111
Mikroausbrüche 56
Mikrodrall 131
Mikrorisse 56
MKD 52
Montage 148

H

Hauptlager 163
Hublager 163

N

Negativ 101
Negativverfahren 89

I

Infiltrationsprozess 93

O

Oxydation 56

K

kinematische Schneiden 10
Konizität 151
Konstruktionsgrundsätze 97
Kontaktlängen 34
Kopfprofilschleifen 176
Kornausbruch 29
Korndichte 107
Kornform 109
Korngeometrien 41
Kornsplitter 29
Kornüberstand 81, 115
Kornwechsel 48
Kugelführungen 173
Kugelgewindemuttern 183

P

Pendelhubverfahren 164
Positivverfahren 90
Profilrolle 33, 75
Punktcrushieren 203

R

Radlager 166
Regelscheibe 153
Reparatur 148
Riffelwalzen 178
Rohdiamant 45
Rollenführungen 173

S

- Schleifspalt 153
- Schrägeinstechschleifen 169
- Schrägkugellager 169
- Schraubenverdichter 188
- Schuhschleifen 169
- Sinterkorundscheiben 59
- Skewness 112, 140
- Spindellager 148
- statische Schneiden 10
- Stichsägen 178
- Strömungsturbinen 176

T

- Tannenbaum-Profile 176
- Traganteil 82, 135
- Traganteilkurven 43
- Turboladerwelle 161

U

- Überdeckungsgrad 9, 16, 18, 47

V

- Verschleiß 63
- Verschleißausbildung 47, 66
- Verschleißursachen 75
- Vielkornabrichter 61

W

- Walzbacken 179
- Wälzschleifen 80
- Walzwerkzeuge 179
- Wasserpumpenwellen 156
- Wirkbreite 13
- Wirkrautiefe 19, 121
- Wuchtklassen 98