

Inhalt

Vorwort	XIII
Einleitung	XV
Leseleitfaden	XXV
1 Schleifmaschinen und Standard-Schleifverfahren	1
1.1 Allgemeines zu den Schleifverfahren.....	1
1.2 Gemeinsamkeiten der verschiedenen Schleifmaschinenarten	3
1.3 Standard-Schleifverfahren.....	4
1.4 Anfunktsteuerungen.....	5
1.5 Aussenrund-Umfangs-Längsschleifen AUL	6
1.6 Aussenrund-Umfangs-Schälschleifen AUL(S)	6
1.7 Aussenrund-Umfangs-Querschleifen AUQ	7
1.8 Aussenrund-Schrägeinstechschleifen.....	8
1.9 Innenrund-Umfangs-Längsschleifen IUL.....	8
1.10 Innenrund-Umfangs-Schälschleifen IUL(S)	9
1.11 Innenrund-Umfangs-Querschleifen IUQ	9
1.12 Plan-Seiten-Längsschleifen PSL.....	9
1.13 Plan-Umfangs-Längsschleifen PUL.....	10
1.14 Plan-Umfangs-Querschleifen PUQ.....	11
1.15 Dreh-Umfangs-Längsschleifen DUL	12
1.16 Dreh-Umfangs-Querschleifen DUQ.....	12
1.17 Tauchschleifen.....	13
1.18 Spitzenlos-Schleifen (Centerless-Schleifen)	13
1.19 Bandschleifen (Durchlaufschleifen)	14
1.20 Schleifen der Nocken von Nockenwellen.....	15
1.21 Zusammenfassung von Kapitel 1	16

2	Kinematik, Dynamik und Zerspanungslehre	19
2.1	Kinematik, Dynamik und Zerspanungslehre.....	19
2.2	Schneidengeometrie	21
2.3	Spanbildungskinetik.....	26
2.3.1	Umfangsschleifen (Fall 1).....	26
2.3.2	Stirnschleifen (Fall 2)	26
2.3.3	Gegenlaufschleifen (GGL)	27
2.3.3.1	Wirkbahnen beim Gegenlaufschleifen (GGL)	28
2.3.4	Gleichlaufschleifen (GGL).....	29
2.3.4.1	Wirkbahnen beim Gleichlaufschleifen (GGL).....	29
2.3.5	Druckkraftaufbau beim Gegenlauf- und beim Gleichlaufschleifen	30
2.3.6	Wärmeverlauf beim Gegenlauf- und beim Gleichlaufschleifen.....	31
2.4	Spanwinkel, Scherwinkel und der Stauchfaktor.....	32
2.4.1	Spanwinkel γ	32
2.4.2	Scherwinkel ϕ	32
2.4.3	Stauchfaktor λ	33
2.4.4	Freiwinkel α	33
2.5	Schergeschwindigkeit v_{c2}	34
2.5.1	Schergeschwindigkeit v_{c2} (konventionell bis ca. $v_c = 80$ m/s).....	34
2.5.2	Schergeschwindigkeit v_{c2} (Hochgeschwindigkeitsschleifen).....	36
2.6	Spanbildung, Spanformen und Spanquerschnitte	39
2.6.1	Spanbildung.....	39
2.6.2	Spanformen und Spanquerschnitte	40
2.7	Wärmeverteilung in der Kontaktzone	47
2.8	Wärmeentstehung und Wärmeableitung	51
2.9	Wirkende Kräfte am Schleifkorn (zweidimensional)	57
2.10	Verhalten der Schleifkräfte in Abhängigkeit der Schmierwirkung.....	59
2.11	Zerspan- bzw. Schnittgeschwindigkeiten	60
2.12	Zug- und Druckspannungen in der Werkstücksrandzone.....	62
2.12.1	Allgemeines (Zug- und Druckspannungen)	62
2.12.2	Zug- oder Druckspannungen - und was bewirken sie?.....	63
2.12.3	Durch Schleifen erzeugte Eigenspannungen	64
2.12.4	Prinzipielle Darstellung von Zug- und Druckspannungen.....	66
2.13	Zusammenfassung von Kapitel 2.....	68
3	Schleifstoffe und Schleifscheiben.....	69
3.1	Entwicklung der Schleifscheiben.....	69
3.2	Schleifstoffe allgemein	70
3.3	Schleifstoffe - Kornarten und deren Herstellung.....	71
3.4	Siliziumkarbidarten (grün und dunkel).....	74
3.5	Kubisches Bornitrid (CBN)	76
3.6	Diamant - der härteste und edelste Stoff	80
3.7	Kornhärten der wichtigsten Schleifstoffe	83

3.8	Brechen, Sieben und Korngrößen	83
3.9	Korngrößen nach FEPA-Normung	85
3.10	Bindungen, Scheibenhärte, Strukturen (Porosität)	87
3.11	Konzentration von CBN und Diamant im Schleifbelag	92
3.12	Anwendungen, Abtragsleistungen und G-Werte	93
3.13	Schleifstoffe und deren Anwendungsschwerpunkte	97
3.14	Mikro- und Makroausbruch der Schleifkörner	100
3.15	Arbeitsdruckkraft F_d nach OTT	102
3.16	Anpassung der Wirkrautiefe R_{ts} an die Scheibenbelastung	105
3.17	Brennen von Schleifscheiben mit keramischen Bindungen	108
3.18	Härtemessung von keramisch gebundenen Schleifscheiben	110
3.19	Statische und dynamische Härtewirkung der Schleifscheiben	111
3.20	Auswuchten von Schleifscheiben	113
3.21	Zusammenfassung von Kapitel 3	116
3.22	Scheibenbilder	117
4	Einflussgrößen und ihre Zusammenhänge	123
4.1	Allgemeines	123
4.2	Primäre Einflussgrößen	124
4.3	Sekundäre Einflussgrößen	125
4.4	Zusammenhänge unter den Einflussgrößen	126
4.5	Schnitt- oder Umfangsgeschwindigkeit v_c	126
4.6	Werkstück- oder Vorschubgeschwindigkeit v_{fw}	129
4.7	Werkstoff-, Bearbeitungs- oder Schleifzugabe z_w	131
4.8	Geschwindigkeitsverhältnis q_s	132
4.9	Zustellung a_e	134
4.10	Zustell- oder Einstechgeschwindigkeit v_{fr}	134
4.11	Seitenvorschub f_a pro Werkstückumdrehung	135
4.12	Seitenvorschubgeschwindigkeit v_{fa}	136
4.13	Überdeckungsgrad U_c beim Aussen- und Innenrundscheifen	137
4.14	Zeitspanvolumen Q_w	138
4.15	Bezogenes Zeitspanvolumen Q'_w (allgemein)	139
4.16	Bezogenes Zeitspanvolumen Q'_w - „Tauschschleifen“	142
4.17	Bezogenes Zeitspanvolumen Q'_w - „Seiten-Längsschleifen“	149
4.18	Bezogenes Zeitspanvolumen Q'_w - „Aussen- und Innenrund-Schältschleifen“	151
4.19	Bezogenes Grenzzeitspanvolumen $Q'_{w\text{grenz}}$	152
4.20	Theoretische mittlere Spandicke h_m	154
4.21	Abtragsvolumen V_w und bezogenes Abtragsvolumen V'_w	158
4.22	Kontaktlänge l_k	160
4.23	Kontaktwinkel α_k	162
4.24	MNIR - The Maximum Normal Infeed Rate $v_{fw\text{in}}$	164
4.25	Schleifweg l'_s pro Scheibenumdrehung	167
4.26	Rattermarken	168

4.27	Kontaktbreite b_k	171
4.28	Kontaktfläche A_k	171
4.29	Eintrittssehnenlänge s_e	172
4.30	Zerspanbarkeitsklassen MA (nach OTT)	179
4.31	Spezifische Schnittkraft k_s	181
4.32	Schleifkräfte F_t und F_n sowie die bezogenen Werte F'_t und F'_n	185
4.33	Schleiffaktor S_c (nach OTT)	192
4.34	Schmierfähigkeit (Schmierindex) CL (nach OTT)	194
4.35	Schleifleistung P_s	196
4.36	Bezogene Schleifleistung P'_s	201
4.37	Die Kontaktleistung P''_s	204
4.38	Spezifische Schleifenergie U_s	207
4.39	Bezogene Wärmemenge Q'_{wn} (auch als E''_c bekannt)	211
4.40	Schleifzeitberechnungen	211
4.41	Relativer Leistungsbedarf in Abhängigkeit des verwendeten KSS	213
4.42	Spezifische Spanmenge Q'_m (nach OTT)	214
4.43	Prozess-Berechnungsbeispiele von PUQ, AUQ und IUQ	215
4.42.1	Allgemeine Vorgaben für die folgenden Einstechprozesse	215
4.43.2	Plan-Umfangs-Querschleifen PUQ (Einstechschleifen)	217
4.43.3	Aussenrund-Umfangs-Querschleifen AUQ (Einstechschleifen)	223
4.43.4	Innenrund-Umfangs-Querschleifen IUQ (Einstechschleifen)	229
4.43.5	Wichtige Bemerkung zu den Berechnungsbeispielen	236
4.44	Was man aus Formeln erkennen und ableiten kann	238
4.45	Zusammenfassung von Kapitel 4	243
5	Konditionieren von Schleifscheiben (Abrichten, Profilieren)	245
5.1	Allgemeines zum Konditionieren	245
5.2	Konditionierwerkzeuge (Übersicht)	247
5.3	Wirkrautiefe R_{ts}	248
5.4	Rautiefenwerte (unterschiedliche Messmethoden)	249
5.5	Wirkbreite b_d von stehenden Abrichtwerkzeugen	251
5.6	Überdeckungsgrad U_d	255
5.7	Stehende Konditionierverfahren - Auswirkung auf die Scheibe	256
5.8	Abrichtzustellung a_d	257
5.9	Abricht-Zeitspanvolumen Q_d	259
5.10	Einkornabrichtwerkzeuge	260
5.11	Geschliffene Formdiamantwerkzeuge	263
5.12	Mehrkorndiamantwerkzeuge	263
5.13	Abrichtplatten (Diamant-Fliesen [®])	264
5.14	Anordnung und Arbeitsrichtung stehender Abrichtwerkzeuge	266
5.15	Diamant-Igel	267
5.16	PKD-Abrichtwerkzeuge	268
5.17	MKD-Platten mit monokristallinen Diamantprismen	268

5.18	Diamant-Abriechleiste mit galvanischer Bindung.....	270
5.19	Diamant-Block handgesetzt oder galvanisch belegt.....	271
5.20	Drehende Konditionierverfahren.....	272
5.21	Rollenzustellung, Zustellgeschwindigkeit und Zeitspanvolumen	273
5.22	Diamant-Topfscheiben mit Druckluftantrieb	275
5.23	Prinzipdarstellung Crushieren und Rolldiamantieren	276
5.24	Stahl- oder Hartmetallprofilrollen (Crushierrollen).....	277
5.25	Kleine Crushierscheiben (Stahl und CVD-Verfahren).....	279
5.26	Diamant-Abriech- bzw. -Profilrollen	282
5.27	Profilieren mit Diamantspitzscheiben (Diamantformrollen).....	288
5.28	Continuous Dressing (CD-Konditionieren mit Diamantrollen).....	290
5.29	Zusammenfassung von Kapitel 5.....	292

6 KÜHLSCHMIERSTOFFE, ADDITIVE, FILTER UND ANLAGEN..... 295

6.1	Stand der Technik – Kühlschmierstoffe, Additive, Filter und Anlagen.....	295
6.2	Trockenbearbeitung (Hartdrehen versus Schleifen)	299
6.3	Kühlschmierstoffe (KSS) für die Schleiftechnik	302
6.4	Ungeschmierte und geschmierte vollsynthetische Lösungen.....	304
6.5	Halbsynthetische und echte Emulsionen	306
6.6	Wasserqualität, Ansetzkonzentrationen und Messmethoden.....	309
6.6.1	Bestimmung und Überprüfung der KSS-Konzentrierung	314
6.6.2	Nachfüllmischungen	318
6.7	Schneid- und Schleiföle	322
6.8	Additive für Kühlschmierstoffe	325
6.9	Reibpartner – die prinzipiellen Reibungsarten.....	331
6.10	Schleifölviskositäten für das Schleifen	332
6.11	Einfluss der KSS-Art und -Schmierwirkung auf die Scheibe.....	332
6.12	Resümee über die KSS-Schmierfähigkeit und die Auswirkungen.....	335
6.13	Wo eignen sich die verschiedenen Kühlschmierstoffe?.....	336
6.14	Zu welchen Schleifkornarten welche Kühlschmierstoffe?	338
6.15	Schleifstoffe und Empfehlungen für die KSS-Schmierfähigkeit	339
6.16	Werkstoffe und die dazu geeigneten Kühlschmierstoffarten.....	339
6.17	Wie erhöht man die KSS-Standzeit	340
6.18	Hinweise auf dem KSS-Sicherheitsdatenblatt	341
6.19	Resümee über die Kühlschmierstoffe.....	343
6.20	Filter und Kühlschmierstoffversorgungsanlagen	344
6.21	Größenabstufungen von Kühlmittel-Versorgungsanlagen	354
6.22	Zentrale Kühlmittel-Versorgungsanlagen.....	355
6.23	Rückkühlung der Kühlschmierstoffe	356
6.24	Minimalmengen- und Mindermengenkühlung.....	359
6.25	Zusammenfassung von Kapitel 6.....	361

7	Kühlschmierstoffzuführung (Düsen)	363
7.1	Stand der Technik (KSS-Zuführung).....	363
7.2	Strömungslehre.....	366
7.2.1	Reynold'sche Zahl Re	368
7.3	KSS-Strahlgeschwindigkeit v_k	370
7.4	Berechnung vom notwendigen Pumpendruck p_k	371
7.5	Pumpendimensionierung.....	374
7.6	Pumpenantriebsleistung P_k	376
7.7	Dimensionierung der notwendigen KSS-Menge.....	377
7.8	Leistungsbedarf und Anstieg der Normalkraft F_n	381
7.9	Berechnung der Düsenaustrittsquerschnittfläche A_{kn}	383
7.10	Kühlschmierstoffzuführung zur Schleifscheibe.....	384
7.11	Übersicht der wichtigsten Arten von Kühlschmierstoffdüsen.....	389
7.12	Wichtige Hinweise zur Kühlschmierstoffzuleitung.....	400
7.12.1	Leitungsgrösse in Abhängigkeit der Durchflussmenge.....	401
7.12.2	Schlauchleitungen in der Kühlschmierstoffzuführung.....	401
7.12.3	Pulsieren von Zentrifugalpumpen.....	402
7.12.4	Druck- und Pumpenleistungsberechnungen.....	403
7.12.5	Steigleitungen, Fittings, Verschraubungen, Ventile, usw.....	405
7.13	Praktische Anlagen- und Düsendimensionierung.....	406
7.14	Beispiele von verschiedenen Düsenbauarten.....	409
7.15	Zusammenfassung von Kapitel 7.....	412
8	Vollschnittschleifen (Tiefschleifen)	415
8.1	Allgemeines und Historisches über das Vollschnittschleifen.....	415
8.2	Vollschnittschleifmaschinen.....	417
8.3	Die ideale Schleifrichtung beim Vollschnittschleifen.....	418
8.4	Einige Einflussgrössen und ihre Zusammenhänge.....	420
8.5	Einfluss der Schnittgeschwindigkeit v_c	425
8.6	Besonderheiten beim Vollschnittschleifen.....	427
8.7	Tücken des Vollschnittschleifens.....	428
8.8	Schleifscheiben für das Vollschnittschleifen.....	430
8.9	Oberflächenqualität beim Vollschnittschleifen.....	433
8.10	Profilierverfahren für Vollschnittschleifscheiben.....	434
8.11	Kühlschmierstoffe (KSS) für das Vollschnittschleifen.....	435
8.12	Ist-Zustand des Vollschnittschleifens und Zukunftsaussichten.....	436
8.13	Zusammenfassung von Kapitel 8.....	438
9	Aussenrund- und Innenrund-Schältschleifen	439
9.1	Allgemeines zum Aussen- und Innenrundschaltschleifen.....	439
9.2	Aussen- und Innenrund-Längsschleifen.....	439
9.3	Schaltschleifen - eine Alternative zum Hartdrehen.....	441
9.4	Aussenrund-Umfangs-Schaltschleifen AUL(S).....	442

9.5	Planungs- und Praxishinweise für das Aussenrund-Schälschleifen	445
9.5.1	Wichtige Grössen und Zusammenhänge AUL(S)	446
9.6	Anwendungshinweise und Beispiele (Schälschleifen).....	446
9.7	Innenrund-Umfangs-Schälschleifen IUL(S)	447
9.8	Praxishinweise für das Innenrund-Schälschleifen	451
9.8.1	Wichtige Grössen und Zusammenhänge IUL(S)	452
9.9	Schnittgeschwindigkeiten für das Schälschleifen.....	453
9.10	Schleifscheiben für das Schälschleifen	454
9.11	Kühlschmierstoffe für das Schälschleifen.....	456
9.12	Anwendungsbeispiel AUL(S).....	457
9.13	Zusammenfassung von Kapitel 9.....	461
10	Hochgeschwindigkeitsschleifen (HSG und HEDG)	463
10.1	Allgemeines zum Hochgeschwindigkeitsschleifen.....	463
10.2	Hochgeschwindigkeits- und konventionelles Schleifen.....	464
10.3	Hochgeschwindigkeits- und Hochleistungsschleifen.....	469
10.4	Wärme in der Kontaktzone (Hochgeschwindigkeitsschleifen).....	470
10.5	Typische Merkmale der Hochgeschwindigkeitstechnologie	470
10.6	Anforderungen an Hochgeschwindigkeits-Schleifmaschinen.....	471
10.7	Kühlschmierstoffe für das Hochgeschwindigkeitsschleifen.....	472
10.8	Schleifscheiben für das Hochgeschwindigkeitsschleifen	474
10.9	Schleifverfahren und Anwendungsmöglichkeiten	475
10.10	Vorteile und Zukunft des Hochgeschwindigkeitsschleifens	476
10.11	Darstellung der wichtigsten Hochgeschwindigkeits-Merkmale	476
10.12	Hochgeschwindigkeitsschleifen wirtschaftlich relativ definiert.....	478
10.13	Vorteile des Hochgeschwindigkeitsschleifens	479
10.14	Planung und Vorbereitung eines HSG-Prozesses	480
10.15	Anwendungen der verschiedenen Leistungsverfahren.....	481
10.16	Zusammenfassung von Kapitel 10.....	482
11	Wichtige Merkmale der Schleiftechnik	483
11.1	Allgemeines zu den Merkpunkten	483
11.2	Übersicht „Wichtige Merkmale der Schleiftechnik“	484
11.3	Zerspannung allgemein und schleiftechnisch	484
11.4	Einflussgrössen und ihre Zusammenhänge.....	486
11.5	Wichtige Hinweise zu Schleifscheiben und deren Einsatz.....	490
11.6	Konditionieren (Abrichten und Profilieren)	493
11.7	Kühlschmierstoffe (Lösungen, Emulsionen, Schleiföle, Additive)	498
11.8	Wartung von Kühlschmierstoffen	501
11.9	Filtersysteme und Kühlschmierstoff-Versorgungsanlagen.....	502
11.10	Kühlschmierstoffbemessung und -zuführung (Düsen)	504
11.11	Schwingungen, Vibrationen und der Ruck.....	506
11.12	Anfunk-Steuerungen – durch Kraft, Leistung oder AE	510

11.13	Oberflächenrauheitsmessungen	511
11.14	Aufbauschneiden (Kaltschweißungen).....	512
11.15	Schleifkommas – eine schlechte Oberflächenqualität.....	513
11.16	Schleifbrand oder thermische Randzonenschädigung	516
11.17	Eigenspannungen in der geschliffenen Randzone	519
11.18	Verschiedenes (Merkmale)	520
11.19	Zusammenfassung von Kapitel 11	522
12	Schlusswort des Autors	525
Anhang A	Begriffe, Abkürzungen und Einheiten	529
A1	Begriffe, Abkürzungen und Einheiten	529
A2	Abkürzungen, Begriffe und Einheiten	536
Anhang B	Mathematikformeln (Repetitorium).....	543
B1	Mathematikformeln (Repetitorium)	543
B2	Wichtige Vereinbarungen in der Mathematik	544
B3	Mathematische Grundbegriffe – die sieben Grundrechnungsarten	546
B4.0	Umstellung von einfachen Formeln (Gleichungen)	546
B4.1	Formelumstellung von Summen	547
B4.2	Formelumstellung von Subtraktionen	547
B4.3	Formelumstellung von Multiplikationen.....	547
B4.4	Formelumstellung von Divisionen.....	547
B4.5	Formelumstellung von einer Potenz und eines Produkts.....	548
B4.6	Formelumstellung einer Potenz und eines Quotienten.....	548
B4.7	Formeln mit Produkten, Quotienten, Summen und Differenzen	549
B5	Griechisches Alphabet	551
B6	Zusammenfassung des Mathe-Repetitoriums	553
Anhang C	Quellenverzeichnis	555
Index	559	