

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
A Drehen	3
1 Drehwerkzeuge	3
1.1 Schneidstoffe	3
1.1.1 Unlegierter und niedriglegierter Werkzeugstahl	4
1.1.2 Schnellarbeitsstahl	4
1.1.3 Hartmetall	5
1.1.4 Cermet	7
1.1.5 Keramik	8
1.1.6 Diamant	10
1.1.7 Polykristalline Schneidstoffe	11
1.2 Schneidenform	13
1.2.1 Bezeichnungen	13
1.2.2 Negative Spanwinkel	15
1.2.3 Wendeschneidplatten	16
1.2.4 Oberflächengüte	18
1.3 Werkzeugform	20
1.3.1 Drehmeißel aus Schnellarbeitsstahl	20
1.3.2 Drehmeißel mit Hartmetallschneiden	20
1.3.3 Klemmhalter	20
1.3.4 Innendrehmeißel	24
1.3.5 Formdrehmeißel	35
2 Werkstück	28
2.1 Werkstoff	29
2.2 Werkstückeinspannung	31
2.2.1 Radiale Lagebestimmung	31
2.2.2 Axiale Lagebestimmung	32
2.2.3 Übertragung der Drehmomente und Kräfte	32
2.3 Werkstückgestalt	33
2.3.1 Grobgestalt	33
2.3.2 Feingestalt	33
2.3.3 Mikrogestalt	37
3 Bewegungen	37
3.1 Bewegungsrichtung	37
3.2 Aus der Vorschubrichtung abgeleitete Drehverfahren	37
3.3 Schnitt- und Zerspanungsgrößen	38

4 Kräfte an der Schneide	39
4.1 Zerspankraftzerlegung	39
4.2 Entstehung der Zerspankraft und Spangeometrie	41
4.3 Berechnung der Schnittkraft	44
4.3.1 Spanungsquerschnitt und spezifische Schnittkraft	44
4.3.2 Einfluß des Werkstoffs	46
4.3.3 Einfluß der Spanungsdicke	48
4.3.4 Einfluß der Schneidengeometrie	49
4.3.5 Einfluß des Schneidestoffs	50
4.3.6 Einfluß der Schnittgeschwindigkeit	50
4.3.7 Einfluß der Werkstückform	51
4.3.8 Einfluß der Werkzeugstumpfung	52
4.3.9 Weitere Einflüsse	53
4.4 Schneidkantenbelastung	53
4.5 Berechnung der Vorschubkraft	53
4.5.1 Einfluß der Spanungsdicke	54
4.5.2 Einfluß der Schneidengeometrie	54
4.5.3 Einfluß des Schneidestoffs	54
4.5.4 Einfluß der Schnittgeschwindigkeit	55
4.5.5 Stumpfung und weitere Einflüsse	55
4.6 Berechnung der Passivkraft	55
4.6.1 Einfluß der Schneidengeometrie	56
4.6.2 Stumpfung und weitere Einflüsse	56
5 Temperatur an der Schneide	57
5.1 Messen der Temperatur	57
5.2 Temperaturverlauf	58
5.3 Temperaturlfeld und Wärmebilanz	59
5.4 Kühlenschmiermittel	59
6 Verschleiß und Standzeit	60
6.1 Verschleißursachen	60
6.1.1 Reibungsverschleiß	60
6.1.2 Preßschweißverschleiß	61
6.1.3 Diffusionsverschleiß	62
6.1.4 Verformung der Schneidkante	62
6.2 Verschleißformen	63
6.2.1 Freiflächenverschleiß	63
6.2.2 Kolkverschleiß	63
6.2.3 Weitere Verschleißformen	64
6.3 Verschleißverlauf	64
6.3.1 Einfluß der Eingriffszeit	64
6.3.2 Einfluß der Schnittgeschwindigkeit	64
6.4 Standzeit	65
6.4.1 Definitionen	65
6.4.2 Einfluß der Schnittgeschwindigkeit	66
6.4.3 Weitere Einflüsse	67

7 Leistung und Spanungsvolumen	69
7.1 Leistungsberechnung	69
7.2 Spanungsvolumen	69
7.2.1 Zeitspannungsvolumen	69
7.2.2 Leistungsbezogenes Zeitspannungsvolumen	70
7.2.3 Spanungsvolumen je Werkstück	71
8 Wahl wirtschaftlicher Spanungsgrößen	71
8.1 Einfluß der Schnittgrößen auf Kräfte, Verschleiß und Leistungsbedarf	71
8.2 Berechnung der Fertigungskosten	73
8.2.1 Maschinenkosten	73
8.2.2 Lohnkosten	73
8.2.3 Werkzeugkosten	74
8.2.4 Zusammenfassung der Fertigungskosten	75
8.3 Einfluß der Bearbeitungszeitverkürzung auf die Fertigungskosten (Kostenminimierung)	75
9 Berechnungsbeispiele	79
9.1 Scherwinkel	79
9.2 Längs-Runddrehen	79
9.3 Standzeitberechnung	80
9.4 Fertigungskosten	81
9.5 Optimierung der Schnittgeschwindigkeit v_c	83
B Hobeln und Stoßen	86
1 Werkzeuge	86
1.1 Werkzeugform	86
1.2 Schneidstoffe	87
1.3 Schneidengeometrie	87
2 Werkstücke	87
2.1 Werkstückformen	87
2.2 Werkstoffe	88
3 Bewegungen	88
3.1 Bewegungen in Schnittrichtung	88
3.2 Bewegungen in Vorschubrichtung	89
4 Kräfte und Leistung	89
4.1 Berechnung der Schnittkraft	90
4.2 Berechnung der Schnittleistung	90
5 Zeitspannungsvolumen	91
6 Berechnungsbeispiel	91

C Bohrverfahren	92
1 Abgrenzung	92
2 Bohren ins Volle	93
2.1 Der Spiralbohrer	93
2.2 Schneidengeometrie am Spiralbohrer	94
2.2.1 Kegelmantelschliff	94
2.2.2 Besondere Anschliffformen	95
2.2.3 Anschliffgüte von Spiralbohrern	98
2.3 Bohrer mit Wendeschneidplatten	99
2.3.1 Konstruktiver Aufbau	99
2.3.2 Eigenschaften und Einsatzgebiete	101
2.4 Schneidstoffe für Bohrwerkzeuge	101
2.4.1 Schnellarbeitsstahl	101
2.4.2 Schnellarbeitsstahl mit Hartstoffschichten	102
2.4.3 Hartmetalle	103
2.5 Spanungsgrößen	104
2.6 Kräfte, Schnittmoment, Leistungsbedarf	105
2.6.1 Schnittkraftberechnung	105
2.6.2 Schnittmoment und Schnittleistung	106
2.6.3 Weitere Zerspankraftkomponenten	107
2.7 Verschleiß und Standweg	108
2.7.1 Verschleiß an Spiralbohrern	108
2.7.2 Wirkung von Verschleiß	110
2.7.3 Standweg und Standzeit	111
2.8 Werkstückfehler, Bohrfehler	112
2.8.1 Vom Werkstück verursachte Fehler	112
2.8.2 Vom Werkzeug verursachte Fehler	113
2.8.3 Maßnahmen zur Vermeidung von Bohrfehlern	113
3 Aufbohren	114
3.1 Werkzeuge zum Aufbohren	114
3.2 Spanungsgrößen	116
3.3 Kräfte, Schnittmoment und Leistung	116
4 Senken	117
4.1 Senkwerkzeuge	118
4.2 Spanungsgrößen und Schnittkraftberechnung	119
4.3 Stufenbohren	120
5 Reiben	121
5.1 Reibwerkzeuge	122
5.1.1 Handreibbahnen	122
5.1.2 Maschinenreibbahnen	122
5.1.3 Kegelreibbahnen	124
5.1.4 Schneidengeometrie an Mehrschneidenreibbahnen	125
5.1.5 Einschneidenreibbahnen	126
5.2 Spanungsgrößen	127
5.3 Arbeitsergebnisse	129

6 Tiefbohrverfahren	130
6.1 Tiefbohren mit Spiralbohrern	130
6.2 Tiefbohren mit Einlippen-Tiefbohrwerkzeugen	131
6.2.1 Einlippen-Tiefbohrwerkzeuge	131
6.2.2 Schnittbedingungen bei Einlippen-Tiefbohrwerkzeugen	132
6.2.3 Kräfte am Bohrkopf	133
6.3 Tiefbohren mit BTA-Werkzeugen	135
6.3.1 BTA-Tiefbohrwerkzeuge	135
6.3.2 Schnittgeschwindigkeit und Vorschub beim BTA-Tiefbohren	136
6.4 Tiefbohren mit Ejektor-Werkzeugen	136
7 Gewindebohren	137
7.1 Gewindearten	138
7.2 Formen von Gewindebohrern	139
7.3 Schneidstoff	141
7.4 Verschleiß und Standweg	141
7.4.1 Verschleißformen	141
7.4.2 Schneidenbruch	141
7.4.3 Standzeitkriterien	142
7.5 Berechnung von Kräften, Moment und Leistung	143
7.5.1 Schnittaufteilung	143
7.5.2 Schnittkraftberechnung	145
7.5.3 Schnittmoment und Schnittleistung	146
7.6 Schnittgeschwindigkeit	146
8 Berechnungsbeispiele	147
8.1 Bohren ins Volle	147
8.2 Aufbohren	148
8.3 Kegelsenken nach Bild C-32	149
D Fräsen	151
1 Definitionen	151
2 Fräswerkzeuge	154
2.1 Werkzeugformen	154
2.1.1 Walzen- und Walzenstirnfräser	154
2.1.2 Scheibenfräser	156
2.1.3 Profilfräser	158
2.1.4 Fräser mit Schaft	159
2.1.5 Fräsköpfe	163
2.2 Wendeschneidplatten für Fräswerkzeuge	169
2.3 Schneidstoffe	169
3 Umfangsfräsen	171
3.1 Eingriffsverhältnisse beim Gegenlaufräsen	171
3.1.1 Eingriffskurve	171
3.1.2 Wirkrichtung	173
3.1.3 Spanungsdicke	174

3.2 Zerspankraft	175
3.2.1 Definition der Zerspankraftkomponenten	175
3.2.2 Schnittkraftverlauf und Überlagerungen	176
3.3 Schnittleistung	179
3.4 Zeitspannungsvolumen	179
3.4.1 Optimierungsfragen	180
3.4.2 Spezifische Schnittleistung	182
3.5 Gleichlauffräsen	183
3.5.1 Eingriffskurve beim Gleichlauffräsen	184
3.5.2 Richtung der Zerspankraft beim Gleichlauffräsen	184
3.5.3 Weitere Besonderheiten beim Gleichlauffräsen	184
4 Stirnfräsen	185
4.1 Eingriffsverhältnisse	186
4.1.1 Eingriffsgrößen	186
4.1.2 Spanungsgrößen	188
4.2 Kraft- und Leistungsgrößen	190
4.2.1 Schnittkraftberechnung	190
4.2.2 Schnittleistung	191
4.2.3 Zeitspannungsvolumen	191
4.3 Feinfräsen	192
4.3.1 Entstehung der Oberflächenform	192
4.3.2 Fräsen mit Sturz	195
4.3.3 Wirkung der Zerspankräfte beim Feinfräsen	197
4.3.4 Einzahnfräsen	199
5 Hochgeschwindigkeitsfräsen	200
6 Berechnungsbeispiele	202
6.1 Vergleich Umgangsfräsen – Stirnfräsen	202
6.2 Feinfräsen	205
E Räumen	207
1 Werkzeuge	207
1.1 Schneidenzahl und Werkzeuglänge	208
1.2 Schnittaufteilung und Staffelung	209
1.3 Teilung	210
2 Spanungsgrößen	211
3 Kräfte und Leistung	212
4 Berechnungsbeispiel	212

F Schleifen	215
1 Schleifwerkzeuge	215
1.1 Formen der Schleifwerkzeuge	215
1.2 Bezeichnung nach DIN 69 100	218
1.3 Schleifmittel	219
1.3.1 Korund	220
1.3.2 Siliziumkarbid	221
1.3.3 Bornitrid	221
1.3.4 Diamant	223
1.4 Korngröße und Körnung	224
1.5 Bindung	225
1.6 Schleifscheibenaufspannung	227
1.7 Auswuchten von Schleifscheiben	228
1.7.1 Unwucht	228
1.7.2 Unwucht messen	228
1.7.3 Unwucht ausgleichen	229
2 Kinematik	229
2.1 Einteilung der Schleifverfahren in der Norm	229
2.2 Schnittgeschwindigkeit	230
2.3 Werkstückgeschwindigkeit beim Rundschleifen	232
2.4 Vorschub beim Querschleifen	233
2.5 Vorschub beim Schrägschleifen	236
2.6 Vorschub und Zustellung beim Längsschleifen	237
2.7 Bewegungen beim Spitzenlossschleifen	238
2.8 Bewegungen beim Umfangs-Planschleifen	239
2.9 Seitenschleifen	240
2.9.1 Quer-Seitenplanschleifen	242
2.9.2 Längs-Seitenplanschleifen	242
2.9.3 Zweischeiben-Feinschleifen	243
2.9.4 Längs-Seitenschleifen mit Werkstückrotation	244
2.9.5 Seiten-Formschleifen	246
2.10 Tiefschleifen	247
2.11 Innenschleifen	250
2.12 Trennschleifen	252
2.12.1 Außentrennschleifen	252
2.12.2 Innenloch trennen	253
2.13 Punktschleifen	253
3 Eingriffsverhältnisse	255
3.1 Vorgänge beim Eingriff des Schleifkorns	255
3.2 Eingriffswinkel	256
3.3 Kontaktlänge und Kontaktzone	259
3.4 Form des Eingriffsquerschnitts	260
3.5 Zahl der wirksamen Schleifkörper	263

4 Auswirkungen am Werkstück	266
4.1 Oberflächengüte	266
4.1.1 Wirkrauhetie	266
4.1.2 Werkstückrauhetie	266
4.1.3 Einflüsse auf die Werkstückrauhetie	267
4.2 Verfestigung und Verformungs-Eigenspannungen	270
4.2.1 Verfestigung	270
4.2.2 Eigenspannungen durch Werkstoffverformung	270
4.3 Erhitzung, Zugeigenspannungen und Schleifrisse	271
4.3.1 Erhitzung	271
4.3.2 Zugeigenspannungen und Schleifrisse	272
4.4 Gefügeveränderungen durch Erwärmung	273
4.5 Beeinflussung der Eigenspannungsentstehung	274
5 Spannungsvolumen	274
5.1 Spannungsvolumen pro Werkstück	274
5.1.1 Spannungsvolumen beim Längschleifen	274
5.1.2 Spannungsvolumen beim Querschleifen	275
5.2 Zeitspannungsvolumen	276
5.3 Beziges Zeitspannungsvolumen	276
5.4 Standvolumen und andere Standgrößen	277
5.5 Optimierung	277
5.5.1 Günstige Schleifbedingungen beim Grobschleifen	278
5.5.2 Günstige Schleifbedingungen beim Feinschleifen	278
6 Verschleiß	280
6.1 Absplittern und Abnutzung der Schleifkornkanten	280
6.2 Ausbrechen von Schleifkorn	280
6.3 Auswaschen der Bindung	281
6.4 Zusetzen der Spanräume	282
6.5 Verschleißvolumen und Verschleißkenngrößen	282
6.6 Wirkhärte	284
7 Abrichten	285
7.1 Ziele	285
7.2 Abrichten mit Einkorndiamant	286
7.3 Abrichten mit Diamant-Vielkornabrichter	288
7.4 Abrichten mit Diamantfliese	288
7.5 Abrichten mit Diamantrolle	288
7.6 Preßrollabrichten	290
7.7 Abrichten von CBN-Schleifscheiben	290
8 Kräfte und Leistung	291
8.1 Richtung und Größe der Kräfte	291
8.1.1 Kraftkomponenten	291
8.1.2 Einflüsse auf die Größe der Kraftkomponenten	292
8.1.3 Messen der Kraftkomponenten	293
8.1.4 Berechnen der Schleifkräfte	294
8.2 Leistungsberechnung	295

9 Schwingungen	296
10 Berechnungsbeispiele	296
10.1 Querschleifen	296
10.2 Außen-Längsrundschleifen	298
10.3 Innen-Längsrundschleifen	300
G Honen	303
1 Abgrenzung	303
2 Langhubhonen	304
2.1 Werkzeuge	304
2.1.1 Werkzeugformen und Wirkungsweise	304
2.1.2 Schleifmittel für das Honen	305
2.2 Bewegungsablauf	307
2.2.1 Schnittbewegung	307
2.2.2 Axialhub und Hublage	308
2.2.3 Zustellung	310
2.3 Abspanzvorgang	311
2.4 Zerspankraft	312
2.5 Auswirkungen am Werkstück	313
2.5.1 Oberflächengüte	313
2.5.2 Formgenauigkeit	314
2.5.3 Blechmantel	315
2.6 Abspangröhren	316
2.6.1 Abtraggeschwindigkeit	316
2.6.2 Zeitspannungsvolumen	317
2.6.3 Honsteinverschleiß	318
3 Kurzhubhonen	319
3.1 Werkzeuge	319
3.1.1 Konstruktiver Aufbau	319
3.1.2 Schleifmittel, Korngröße und Bindung	319
3.2 Bewegungsablauf	320
3.2.1 Schnittbewegung	320
3.2.2 Vorschubbewegung	323
3.2.3 Anpressung	324
3.3 Kräfte	325
3.3.1 Zerspankraft	325
3.3.2 Stützkräfte und Werkstückantrieb bei spitzenloser Bearbeitung	325
3.4 Abspanzvorgang	327
3.5 Auswirkungen am Werkstück	328
3.5.1 Oberflächengüte	328
3.5.2 Formgenauigkeit	328
3.5.3 Werkstoffverfestigung	329
3.6 Abspanzungsgrößen	330

4 Bandhonen	330
4.1 Verfahrensbeschreibung	330
4.2 Bewegungsablauf	331
4.3 Werkzeuge	331
4.4 Werkstücke	332
4.5 Arbeitsergebnisse	332
5 Berechnungsbeispiele	332
5.1 Langhubhonen	332
5.2 Kräfte beim Honen	333
5.3 Kurzhubhonen	334
5.4 Abtrag und Verschleiß beim Kurzhubhonen	335
 H Läppen	 336
1 Abgrenzung	336
2 Läppwerkzeuge	337
2.1 Läppkorn	337
2.2 Läppflüssigkeiten	338
2.3 Läppscheiben	339
2.4 Andere Läppwerkzeuge	340
3 Bewegungsablauf bei den Läppverfahren	341
3.1 Planläppen	341
3.2 Planparallel-Läppen	342
3.3 Außenrundläppen	342
3.4 Innenrundläppen	343
3.5 Schraubläppen	344
3.6 Wälzläppen	344
3.7 Profilläppen	344
4 Werkstücke	345
5 Abspannungsvorgang	346
6 Arbeitsergebnisse	349
6.1 Oberflächengüte	349
6.2 Genauigkeit	349
6.3 Randschicht	350
7 Weitere Läppverfahren	351
7.1 Druckfließläppen	351
7.1.1 Verfahrensprinzip	351
7.1.2 Pasten und Läppmittel	351
7.1.3 Kenngrößen	352
7.1.4 Einflußgrößen und ihre Wirkung	352
7.1.5 Werkstücke	353

7.2 Ultraschall-Schwingläppen	353
7.2.1 Verfahrensprinzip	353
7.2.2 Werkzeuge	354
7.2.3 Werkstücke	355
Formelzeichen	356
Verzeichnis der erwähnten DIN-Normen	362
Literaturverzeichnis	368
Sachwortverzeichnis	372