

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
A Drehen	3
1 Drehwerkzeuge	3
1.1 Schneidstoffe	4
1.1.1 Unlegierter und niedriglegierter Werkzeugstahl	5
1.1.2 Schnellarbeitsstahl	5
1.1.3 Hartmetall	6
1.1.4 Cermet	8
1.1.5 Keramik	10
1.1.6 Bornitrid	13
1.1.7 Diamant	14
1.1.8 Polykristalliner Diamant	15
1.1.9 Beschichtete Schneidstoffe	16
1.2 Schneidenform	19
1.2.1 Bezeichnungen	19
1.2.2 Negative Spanwinkel	22
1.2.3 Wendeschneidplatten	23
1.2.4 Oberflächengüte der Schneidenflächen	26
1.3 Werkzeugform	26
1.3.1 Drehmeißel aus Schnellarbeitsstahl	26
1.3.2 Drehmeißel mit Hartmetallschneiden	26
1.3.3 Klemmhalter	26
1.3.4 Innendrehmeißel	32
1.3.5 Formdrehmeißel	33
2 Werkstück	36
2.1 Werkstoff	36
2.2 Werkstückeinspannung	39
2.2.1 Radiale Lagebestimmung	39
2.2.2 Axiale Lagebestimmung	40
2.2.3 Übertragung der Drehmomente und Kräfte	40
2.3 Werkstückgestalt	41
2.3.1 Grobgestalt	41
2.3.2 Feingestalt	41
2.3.3 Mikrogestalt	44
3 Bewegungen	44
3.1 Bewegungsrichtung	46
3.2 Aus der Vorschubrichtung abgeleitete Drehverfahren	46
3.3 Schnitt- und Zerspanungsgrößen	46

4 Kräfte an der Schneide	48
4.1 Zerspankraftzerlegung	48
4.2 Entstehung der Zerspankraft und Spangeometrie	50
4.3 Berechnung der Schnittkraft	54
4.3.1 Spanungsquerschnitt und spezifische Schnittkraft	54
4.3.2 Einfluß des Werkstoffs	56
4.3.3 Einfluß der Spanungsdicke	58
4.3.4 Einfluß der Schneidengeometrie	59
4.3.5 Einfluß des Schneidstoffs	60
4.3.6 Einfluß der Schnittgeschwindigkeit	60
4.3.7 Einfluß der Werkstückform	61
4.3.8 Einfluß der Werkzeugstumpfung	63
4.3.9 Weitere Einflüsse	63
4.4 Schneidkantenbelastung	63
4.5 Berechnung der Vorschubkraft	63
4.5.1 Einfluß der Spanungsdicke	64
4.5.2 Einfluß der Schneidengeometrie	64
4.5.3 Einfluß des Schneidstoffs	65
4.5.4 Einfluß der Schnittgeschwindigkeit	65
4.5.5 Stumpfung und weitere Einflüsse	65
4.6 Berechnung der Passivkraft	66
4.6.1 Einfluß der Schneidengeometrie	66
4.6.2 Stumpfung und weitere Einflüsse	67
5 Temperatur an der Schneide	67
5.1 Messen der Temperatur	67
5.2 Temperaturverlauf	69
5.3 Temperaturfeld und Wärmebilanz	69
5.4 Kühlschmierstoffe	70
6 Verschleiß und Standzeit	72
6.1 Verschleißvorgänge	72
6.1.1 Reibungsverschleiß	72
6.1.2 Aufbauschneidenbildung	73
6.1.3 Diffusionsverschleiß	73
6.1.4 Verformung der Schneidkante	74
6.2 Verschleißformen	74
6.2.1 Freiflächenverschleiß	74
6.2.2 Kolkverschleiß	75
6.2.3 Weitere Verschleißformen	76
6.3 Verschleißverlauf	76
6.3.1 Einfluß der Eingriffszeit	76
6.3.2 Einfluß der Schnittgeschwindigkeit	76
6.4 Standzeit	77
6.4.1 Definitionen	77
6.4.2 Einfluß der Schnittgeschwindigkeit	78
6.4.3 Weitere Einflüsse	80

7 Leistung und Spannungsvolumen	81
7.1 Leistungsberechnung	81
7.2 Spannungsvolumen	81
7.2.1 Zeitspannungsvolumen	81
7.2.2 Leistungsbezogenes Zeitspannungsvolumen	82
7.2.3 Spannungsvolumen je Werkstück	83
8 Wahl wirtschaftlicher Schnittgrößen	83
8.1 Einfluß der Schnittgrößen auf Kräfte, Verschleiß und Leistungsbedarf	83
8.2 Berechnung der Fertigungskosten	85
8.2.1 Maschinenkosten	85
8.2.2 Lohnkosten	85
8.2.3 Werkzeugkosten	87
8.2.4 Zusammenfassung der Fertigungskosten	87
8.3 Einfluß der Bearbeitungszeitverkürzung auf die Fertigungskosten (Kostenminimierung)	87
9 Berechnungsbeispiele	91
9.1 Scherwinkel	91
9.2 Längs-Runddrehen	91
9.3 Standzeitberechnung	92
9.4 Fertigungskosten	93
9.5 Optimierung der Schnittgeschwindigkeit v_c	95
B Hobeln und Stoßen	98
1 Werkzeuge	98
1.1 Werkzeugform	98
1.2 Schneidstoffe	99
1.3 Schneidengeometrie	99
2 Werkstücke	99
2.1 Werkstückformen	99
2.2 Werkstoffe	100
3 Bewegungen	100
3.1 Bewegungen in Schnittrichtung	100
3.2 Bewegungen in Vorschubrichtung	101
4 Kräfte und Leistung	101
4.1 Berechnung der Schnittkraft	102
4.2 Berechnung der Schnittleistung	102
5 Zeitspannungsvolumen	103
6 Berechnungsbeispiel	103

C Bohrverfahren	104
1 Abgrenzung	104
2 Bohren ins Volle	105
2.1 Der Wendelbohrer	105
2.1.1 Wendelbohrer aus Schnellarbeitsstahl	105
2.2.2 Wendelbohrer aus Hartmetall	106
2.2 Schneidengeometrie am Wendelbohrer	107
2.2.1 Kegelmantelanschliff	107
2.2.2 Besondere Anschliffformen	108
2.2.3 Anschliffgüte von Wendelbohrern	110
2.3 Bohrer mit Wendeschneidplatten	112
2.3.1 Konstruktiver Aufbau	112
2.3.2 Eigenschaften und Einsatzgebiete	112
2.4 Schneidstoffe für Bohrwerkzeuge	113
2.4.1 Schnellarbeitsstahl	113
2.4.2 Schnellarbeitsstahl mit Hartstoffschichten	114
2.4.3 Hartmetalle	116
2.4.4 Cermet und Keramik	117
2.4.5 Diamant	118
2.5 Spanungsgrößen	118
2.6 Kräfte, Schnittmoment, Leistungsbedarf	119
2.6.1 Schnittkraftberechnung	119
2.6.2 Schnittmoment und Schnittleistung	120
2.6.3 Weitere Zerspankraftkomponenten	121
2.7 Verschleiß und Standweg	122
2.7.1 Verschleiß an Wendelbohrern	122
2.7.2 Wirkung von Verschleiß	123
2.7.3 Standweg und Standzeit	125
2.8 Werkstückfehler, Bohrfehler	126
2.8.1 Vom Werkstück verursachte Fehler	126
2.8.2 Vom Werkzeug verursachte Fehler	127
2.8.3 Maßnahmen zur Vermeidung von Bohrfehlern	127
3 Aufbohren	128
3.1 Werkzeuge zum Aufbohren	128
3.2 Spanungsgrößen	129
3.3 Kräfte, Schnittmoment und Leistung	130
4 Senken	131
4.1 Senkwerkzeuge	132
4.2 Spanungsgrößen und Schnittkraftberechnung	133
4.3 Stufenbohren	134
5 Reiben	136
5.1 Reibwerkzeuge	136
5.1.1 Handreibahlen	136
5.1.2 Maschinenreibahlen	137
5.1.3 Kegelreibahlen	138

5.1.4	Schneidengeometrie an Mehrschneidenreibahlen	139
5.1.5	Einschneidenreibahlen	140
5.2	Spanungsgrößen	141
5.3	Arbeitsergebnisse	143
6	Tiefbohrverfahren	144
6.1	Tiefbohren mit Wendelbohrern	144
6.2	Tiefbohren mit Einlippen-Tiefbohrwerkzeugen	145
6.2.1	Einlippen-Tiefbohrwerkzeuge	145
6.2.2	Schnittbedingungen bei Einlippen-Tiefbohrwerkzeugen	147
6.2.3	Kräfte am Bohrkopf	147
6.3	Tiefbohren mit BTA-Werkzeugen	149
6.3.1	BTA-Tiefbohrwerkzeuge	149
6.3.2	Schnittgeschwindigkeit und Vorschub beim BTA-Tiefbohren	150
6.4	Tiefbohren mit Ejektor-Werkzeugen	150
7	Gewindebohren	151
7.1	Gewindearten	152
7.2	Formen von Gewindebohrern	154
7.3	Schneidstoff	155
7.4	Verschleiß und Standweg	155
7.4.1	Verschleißformen	155
7.4.2	Schneidenbruch	156
7.4.3	Standzeitkriterien	156
7.5	Berechnung von Kräften, Moment und Leistung	158
7.5.1	Schnittaufteilung	158
7.5.2	Schnittkraftberechnung	159
7.5.3	Schnittmoment und Schnittleistung	160
7.6	Schnittgeschwindigkeit	161
8	Berechnungsbeispiele	162
8.1	Bohren ins Volle	162
8.2	Aufbohren	163
8.3	Kegelsenken nach Bild C-32	164
D	Fräsen	166
1	Definitionen	166
2	Fräswerkzeuge	166
2.1	Werkzeugformen	166
2.1.1	Walzen- und Walzenstirnfräser	166
2.1.2	Scheibenfräser	171
2.1.3	Profilfräser	173
2.1.4	Fräser mit Schaft	174
2.1.5	Fräsköpfe	178
2.2	Wendeschneidplatten für Fräswerkzeuge	184
2.3	Schneidstoffe	184

3 Umfangsfräsen	186
3.1 Eingriffsverhältnisse beim Gegenlaufräsen	186
3.1.1 Eingriffskurve	187
3.1.2 Wirkrichtung	188
3.1.3 Spanungsdicke	189
3.2 Zerspankraft	190
3.2.1 Definition der Zerspankraftkomponenten	190
3.2.2 Schnittkraftverlauf und Überlagerungen	192
3.3 Schnittleistung	194
3.4 Zeitspanungsvolumen	195
3.4.1 Optimierungsfragen	195
3.4.2 Spezifische Schnittleistung	198
3.5 Gleichlaufräsen	198
3.5.1 Eingriffskurve beim Gleichlaufräsen	199
3.5.2 Richtung der Zerspankraft beim Gleichlaufräsen	199
3.5.3 Weitere Besonderheiten beim Gleichlaufräsen	200
3.5.4 Veränderliche Größen beim Gleichlaufräsen	200
4 Stirnfräsen	201
4.1 Eingriffsverhältnisse	202
4.1.1 Eingriffsgrößen	202
4.1.2 Spanungsgrößen	205
4.2 Kräfte	207
4.2.1 Kraftmessung	207
4.2.2 Schnittkraftberechnung	208
4.3 Schnittleistung und Zeitspanungsvolumen	209
4.4 Feinfräsen	210
4.4.1 Entstehung der Oberflächenform	210
4.4.2 Fräsen mit Sturz	213
4.4.3 Wirkung der Zerspankräfte beim Feinfräsen	215
4.4.4 Einzahnfräsen	217
5 Hochgeschwindigkeitsfräsen	218
6 Gewindefräsen	220
6.1 Gewindefräser	221
6.2 Werkstücke	221
6.3 Kinematik des Gewindefräsens	222
6.4 Gewindefräsborenen	223
7 Berechnungsbeispiele	224
7.1 Vergleich Umfangsfräsen – Stirnfräsen	224
7.2 Feinfräsen	226
E Räumen	228
1 Werkzeuge	228
1.1 Schneidenzahl und Werkzeuglänge	229

1.2	Schnittaufteilung und Staffelung	230
1.3	Teilung	231
2	Spanungsgrößen	232
3	Kräfte und Leistung	233
4	Berechnungsbeispiel	233
F	Schleifen	236
1	Schleifwerkzeuge	236
1.1	Formen der Schleifwerkzeuge	236
1.2	Bezeichnung nach DIN 69 100	239
1.3	Schleifmittel	240
1.3.1	Korund	241
1.3.2	Siliziumkarbid	242
1.3.3	Bornitrid	242
1.3.4	Diamant	244
1.4	Korngröße und Körnung	245
1.5	Bindung	246
1.6	Schleifscheibenaufspannung	248
1.7	Auswuchten von Schleifscheiben	249
1.7.1	Unwucht	249
1.7.2	Unwucht messen	250
1.7.3	Unwucht ausgleichen	250
2	Kinematik	251
2.1	Einteilung der Schleifverfahren in der Norm	251
2.2	Schnittgeschwindigkeit	252
2.3	Werkstückgeschwindigkeit beim Rundschleifen	253
2.4	Vorschub beim Querschleifen	254
2.5	Vorschub beim Schrägschleifen	257
2.6	Vorschub und Zustellung beim Längsschleifen	258
2.7	Bewegungen beim Spitzenlosschleifen	259
2.8	Bewegungen beim Umfangs-Planschleifen	260
2.9	Seitenschleifen	261
2.9.1	Quer-Seitenplanschleifen	263
2.9.2	Längs-Seitenplanschleifen	264
2.9.3	Zweischeiben-Feinschleifen	265
2.9.4	Längs-Seitenschleifen mit Werkstückrotation	265
2.9.5	Seiten-Formschleifen	267
2.10	Tiefschleifen	268
2.10.1	Verfahrensbeschreibung	268
2.10.2	Besondere Schleifbedingungen	268
2.10.3	Wärmeentstehung und Kühlung	270

2.10.4 Schleifscheiben	271
2.10.5 Hochleistungsschleifen	271
2.11 Innenschleifen	273
2.12 Trennschleifen	275
2.12.1 Außentrennschleifen	275
2.12.2 Innenlochtrennen	276
2.13 Punktschleifen	277
3 Eingriffsverhältnisse	278
3.1 Vorgänge beim Eingriff des Schleifkorns	278
3.2 Eingriffswinkel	279
3.3 Kontaktlänge und Kontaktzone	282
3.4 Form des Eingriffsquerschnitts	284
3.5 Zahl der wirksamen Schleifkörner	286
4 Auswirkungen am Werkstück	289
4.1 Oberflächengüte	289
4.1.1 Wirkrautiefe	289
4.1.2 Werkstückrautiefe	289
4.1.3 Einflüsse auf die Werkstückrautiefe	290
4.2 Verfestigung und Verformungs-Eigenstressungen	293
4.2.1 Verfestigung	293
4.2.2 Eigenstressungen durch Werkstoffverformung	293
4.3 Erhitzung, Zugeigenstressungen und Schleifrisse	294
4.3.1 Erhitzung	294
4.3.2 Zugeigenstressungen und Schleifrisse	295
4.4 Gefügeveränderungen durch Erwärmung	296
4.5 Beeinflussung der Eigenstressungsentstehung	297
5 Spannungsvolumen	298
5.1 Spannungsvolumen pro Werkstück	298
5.1.1 Spannungsvolumen beim Längschleifen	298
5.1.2 Spannungsvolumen beim Querschleifen	298
5.2 Zeitspannungsvolumen	299
5.3 Bezogenes Zeitspannungsvolumen	299
5.4 Standvolumen und andere Standgrößen	300
5.5 Optimierung	301
5.5.1 Günstige Schleifbedingungen beim Grobschleifen	301
5.5.2 Günstige Schleifbedingungen beim Feinschleifen	302
6 Verschleiß	303
6.1 Absplittern und Abnutzung der Schleifkornkanten	303
6.2 Ausbrechen von Schleifkorn	304
6.3 Auswaschen der Bindung	305
6.4 Zusetzen der Spanräume	305
6.5 Verschleißvolumen und Verschleißkenngrößen	306
6.6 Wirkhärte	308

7 Abrichten	309
7.1 Ziele	309
7.2 Abrichten mit Einkorndiamant	310
7.3 Abrichten mit Diamant-Vielkornabrichter	311
7.4 Abrichten mit Diamantfliese	311
7.5 Abrichten mit Diamantrolle	312
7.6 Preßrollabrichten	313
7.7 Abrichten von BN-Schleifscheiben	313
8 Kräfte und Leistung	314
8.1 Richtung und Größe der Kräfte	314
8.1.1 Kraftkomponenten	314
8.1.2 Einflüsse auf die Größe der Kraftkomponenten	315
8.1.3 Messen der Kraftkomponenten	317
8.1.4 Berechnen der Schleifkräfte	317
8.2 Leistungsberechnung	318
9 Schwingungen	319
10 Berechnungsbeispiele	320
10.1 Querschleifen	320
10.2 Außen-Längsrundschleifen	321
10.3 Innen-Längsrundschleifen	323
G Honen	325
1 Abgrenzung	325
2 Langhubhonen	326
2.1 Werkzeuge	326
2.1.1 Werkzeugform und Wirkungsweise	326
2.1.2 Schleifmittel für das Honen	327
2.2 Bewegungsablauf	329
2.2.1 Schnittbewegung	329
2.2.2 Axialhub und Hublage	330
2.2.3 Zustellung	332
2.3 Abspannvorgang	334
2.4 Zerspankraft	335
2.5 Auswirkungen am Werkstück	337
2.5.1 Oberflächengüte	337
2.5.2 Formgenauigkeit	338
2.5.3 Blechmantel	338
2.6 Abspannungsgrößen	339
2.6.1 Abspannungsgeschwindigkeit	339
2.6.2 Zeitspanungsvolumen	340
2.6.3 Honsteinverschleiß	342

3 Kurzhubhonen	343
3.1 Werkzeuge	343
3.1.1 Konstruktiver Aufbau	343
3.1.2 Schleifmittel, Korngröße und Bindung	343
3.2 Bewegungsablauf	344
3.2.1 Schnittbewegung	344
3.2.2 Vorschubbewegung	347
3.2.3 Anpressung	348
3.3 Kräfte	349
3.3.1 Zerspankraft	349
3.3.2 Stützkkräfte und Werkstückantrieb bei spitzenloser Bearbeitung	349
3.4 Abspannungsvorgang	351
3.5 Auswirkungen am Werkstück	352
3.5.1 Oberflächengüte	352
3.5.2 Formgenauigkeit	352
3.5.3 Werkstoffverfestigung	353
3.6 Abspannungsgrößen	354
4 Bandhonen	354
4.1 Verfahrensbeschreibung	354
4.2 Bewegungsablauf	355
4.3 Werkzeuge	355
4.4 Werkstücke	357
4.5 Arbeitsergebnisse	357
5 Berechnungsbeispiele	357
5.1 Langhubhonen	357
5.2 Kräfte beim Honen	358
5.3 Kurzhubhonen	359
5.4 Abspannung und Verschleiß beim Kurzhubhonen	360
H Läppen	361
1 Abgrenzung	361
2 Läppwerkzeuge	362
2.1 Läppkorn	362
2.2 Läppflüssigkeit	363
2.3 Läppscheiben	364
2.4 Andere Läppwerkzeuge	365
3 Bewegungsablauf bei den Läppverfahren	366
3.1 Planläppen	366
3.2 Planparallel-Läppen	367
3.3 Außenrundläppen	367
3.4 Innenrundläppen	368
3.5 Schraubläppen	369
3.6 Wälzläppen	369
3.7 Profilläppen	369

4 Werkstücke 370

5 Abspannungsvorgang 371

6 Arbeitsergebnisse 374

 6.1 Oberflächengüte 374

 6.2 Genauigkeit 374

 6.3 Randschicht 375

7 Weitere Läppverfahren 376

 7.1 Druckfließläppen 376

 7.1.1 Verfahrensbeschreibung 376

 7.1.2 Pasten und Läppmittel 376

 7.1.3 Kenngrößen 377

 7.1.4 Einflußgrößen und ihre Wirkung 377

 7.1.5 Werkstücke 378

 7.2 Ultraschall-Schwingläppen 378

 7.2.1 Verfahrensbeschreibung 378

 7.2.2 Werkzeuge 379

 7.2.3 Werkstücke 380

 7.3 Polierläppen 380

 7.3.1 Polierwerkzeuge 381

 7.3.2 Poliermittel 381

 7.3.3 Poliervorgang 381

 7.3.4 Werkstücke 381

Formelzeichen 382

Verzeichnis der erwähnten DIN-Normen 388

Literaturverzeichnis 394

Sachwortverzeichnis 399