

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	15
1 Theorie der spanenden Formung	17
1.1 Begriffe der spanenden Formung	17
1.1.0 Grundlagen	17
1.1.1 Kinematik und Geometrie des Spannungsvorgangs	19
1.1.1.1 Bewegungen zwischen Werkzeugschneide und Werkstück	20
1.1.1.2 Richtungen der Bewegungen (Bewegungsrichtungen)	21
1.1.1.3 Wege des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück	22
1.1.1.4 Geschwindigkeiten	22
1.1.1.5 Komponenten der Bewegungen, Richtungen, Wege und Geschwindigkeiten	23
1.1.1.6 Hilfsbegriffe	23
1.1.1.7 Flächen am Werkstück	25
1.1.1.8 Vorschubgrößen	25
1.1.1.9 Eingriffsgrößen	26
1.1.1.10 Spanungsgrößen	28
1.1.2 Geometrie am Schneidteil spanender Werkzeuge	31
1.1.2.1 Allgemeine Begriffe	32
1.1.2.2 Flächen, Schneiden, Ecken und Rundungen	33
1.1.2.3 Werkzeug-Bezugssystem und Werkzeugwinkel	34
1.1.2.4 Wirk-Bezugssystem und Wirkwinkel	37
1.1.3 Kräfte, Energie, Arbeit und Leistungen	39
1.1.3.1 Kräfte beim Spanen	39
1.1.3.2 Energie und Arbeit beim Spanen	42
1.1.3.3 Leistungen beim Spanen	43
1.1.4 Standbegriffe und Werkzeugverschleiß	44
1.1.4.1 Standbegriffe	44
1.1.4.2 Werkzeugverschleiß	46
1.2 Vorgänge bei der Spanbildung	48
1.2.1 Mechanik der Spanbildung	48
1.2.1.1 Ansätze zur Modellierung der Spanbildung	48
1.2.1.2 Geschwindigkeitsverhältnisse	54
1.2.1.3 Kräfteverhältnisse	55
1.2.2 Spanarten und Spanformen	57
1.2.2.1 Spanarten	57

1.2.2.2	Spanformen	60
1.2.3	Auswirkungen des Spanbildungsprozesses	63
1.3	Schneidstoffe und ihre Anwendung	63
1.3.0	Allgemeine Betrachtungen	63
1.3.1	Werkzeugstähle, unlegiert und legiert	68
1.3.2	Schnellarbeitsstähle	69
1.3.3	Gegossene Hartlegierungen	72
1.3.4	Sinterhartmetalle	72
1.3.5	Schneidkeramik	75
1.3.5.1	Eigenschaften	75
1.3.5.2	Anwendung und Einsatz	76
1.3.6	Superharte Schneidstoffe (Diamant, Bornitrid)	77
1.3.7	Oberflächenbehandelte Schneidstoffe	80
1.3.8	Schneidstoffauswahl in der Werkzeugauslegung	82
1.3.9	Schleifmittel	83
1.4	Temperatur, Verschleiß und Standzeit	85
1.4.1	Spannungstemperatur	85
1.4.2	Verschleißursachen	87
1.4.3	Verschleißarten	89
1.4.4	Auswirkungen des Verschleißes	90
1.4.5	Verschleißkriterien	90
1.4.6	Standzeit	91
1.4.6.1	Definition des Standzeitbegriffs	91
1.4.6.2	Standzeitdiagramm und Einflussgrößen auf die Standzeit	91
1.4.6.3	Standzeitgleichung	95
1.5	Schnittkraft und Leistung	97
1.5.1	Zerspankraft und ihre Komponenten	97
1.5.2	Schnittkraft und spezifische Schnittkraft	97
1.5.3	Einflussgrößen auf Schnittkraft und spezifische Schnittkraft	98
1.5.4	Berechnung der Schnittkraft	103
1.5.5	Vorschub- und Passivkraft	107
1.5.5.1	Einflussgrößen	107
1.5.5.2	Berechnung der Vorschub- und Passivkraft	107
1.5.5.3	Berechnung der Schnittkraft im Gebiet der spanenden Feinbearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide	109
1.5.6	Leistung	112
1.5.7	Zeitspannungsvolumen und spezifisches Spannungsvolumen	113
1.5.8	Maschinenauslastung	114
1.5.9	Energieaufwand	116
1.5.10	Schnittwertoptimierung	120
1.6	Simulation von Zerspanungsvorgängen	121
1.6.1	Einführung	121
1.6.2	Finite-Elemente-Methode (FEM)	122

1.6.3	Molekulardynamische Modellierung	124
1.6.4	Materialmodelle	125
1.6.5	Reibungsmodelle	127
1.6.6	Schädigungsmodelle	128
1.7	Oberflächenqualität	129
1.7.1	Oberflächengestalt	129
1.7.2	Oberflächenbeschaffenheit	134
1.7.3	Oberflächenverhalten	137
1.8	Spanbarkeit und Spanbarkeitsprüfung von Stahlwerkstoffen	138
1.9	Kühlschmierstoffe	143
1.9.1	Eigenschaften und Anwendung	143
1.9.2	Auswirkungen der Kühlschmierstoffe auf Standzeit, Oberflächenqualität und Schnittkräfte	146
1.9.3	Auswahl von Kühlschmierstoffen	147
1.9.4	Trockenbearbeitung	148
1.9.5	Vor- und Nachteile der Nass- und Trockenbearbeitung sowie der Minimalmengenschmierung	150
1.9.6	Darstellung der Möglichkeiten der Trockenbearbeitung	154
1.10	Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC – High-speed-cutting)	158
1.10.1	Grundsätzliches zur HSC	158
1.10.2	Praktische Realisierung der HSC	159
2	Berechnung	167
2.1	Drehen	167
2.1.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	167
2.1.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	167
2.1.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	168
2.1.2	Berechnung der Hauptzeit	169
2.1.2.1	Langdrehen	169
2.1.2.2	Gewindedrehen	170
2.1.2.3	Kegeldrehen	171
2.1.2.4	Plandrehen	173
2.1.2.5	Planringdrehen	175
2.1.2.6	Nachformdrehen	176
2.1.2.7	Drehen auf Automaten	179
2.1.3	Berechnungsbeispiel	180
2.2	Bohren, Senken, Reiben	182
2.2.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	182
2.2.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	182
2.2.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	188
2.2.2	Berechnung der Hauptzeit	190
2.2.2.1	Bohren und Aufbohren mit Spiralbohrer	190

2.2.2.2	Senken und Reiben	192
2.2.3	Berechnungsbeispiel	192
2.3	Fräsen	193
2.3.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	193
2.3.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	193
2.3.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	200
2.3.2	Berechnung der Hauptzeit	203
2.3.2.1	Umfangsfraesen	203
2.3.2.2	Stirnfraesen	204
2.3.2.3	Nutenfraesen auf Nutenfraesmaschinen	206
2.3.2.4	Gewindefraesen	207
2.3.3	Berechnungsbeispiele	209
2.3.3.1	Stirnfraesen	209
2.3.3.2	Umfangsfraesen	212
2.4	Hobeln und Stoßen	214
2.4.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	214
2.4.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	214
2.4.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	214
2.4.2	Berechnung der Hauptzeit	215
2.4.3	Berechnungsbeispiel	216
2.5	Räumen	218
2.5.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	218
2.5.2	Berechnung der Teilung des Räumwerkzeugs	219
2.5.2.1	Berücksichtigung der Aufnahmefähigkeit des Spanraums	219
2.5.2.2	Berücksichtigung der Zug- oder Druckkraft der Maschine	220
2.5.2.3	Berücksichtigung der Festigkeit des Räumwerkzeugs	220
2.5.2.4	Weitere Größen der Zahnung am Räumwerkzeug	221
2.5.3	Zusammenstellung der Gleichungen	223
2.5.4	Berechnung der Hauptzeit	224
2.5.5	Berechnungsbeispiel	224
2.6	Sägen	228
2.6.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	228
2.6.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	228
2.6.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	230
2.6.2	Berechnung der Hauptzeit	231
2.6.3	Berechnungsbeispiel	231
2.7	Schleifen	232
2.7.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung beim Schleifen	233
2.7.2	Berechnung der Hauptzeit	235
2.7.2.1	Rundschleifen	235
2.7.2.2	Flachschleifen	238
2.7.3	Berechnungsbeispiel	240

2.8	Zahradbearbeitung	241
2.8.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	241
2.8.1.1	Wälzfräsen (gerad- und schrägverzahnte Stirnräder)	242
2.8.1.2	Wälzstoßen (geradverzahnte Stirnräder)	244
2.8.1.3	Zahnflankenschleifen (geradverzahnte Stirnräder)	244
2.8.1.4	Berechnungsbeispiele	245
2.8.2	Berechnung der Hauptzeit – Verfahrensüberblick	246
2.8.2.1	Stirradbearbeitung	247
2.8.2.2	Bearbeitung von Schneckenrieben	260
2.8.2.3	Kegelradbearbeitung	267
2.8.2.4	Berechnungsbeispiele	274
2.8.3	Anmerkungen zu den Verzahnungsverfahren	279
2.9	Weitere Verfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide – Verfahrens- überblick	280
2.9.1	Honen	281
2.9.1.1	Verfahrenseinführung	281
2.9.1.2	Genauigkeit beim Honen	282
2.9.1.3	Werkstück und Fertigungsergebnis	282
2.9.1.4	Werkzeug und Fertigungsergebnis	283
2.9.1.5	Werkzeugmaschine und Fertigungsergebnis	285
2.9.1.6	Wirtschaftlichkeit und Entwicklungstendenzen	287
2.9.2	Superfinish	287
2.9.2.1	Verfahrenseinführung	287
2.9.2.2	Genauigkeit beim Superfinish	288
2.9.2.3	Werkstück und Fertigungsergebnis	289
2.9.2.4	Werkzeug und Fertigungsergebnis	290
2.9.2.5	Werkzeugmaschine und Fertigungsergebnis	291
2.9.2.6	Wirtschaftlichkeit	293
2.9.3	Läppen	294
2.9.3.1	Verfahrenseinführung	294
2.9.3.2	Genauigkeit beim Läppen	298
2.9.3.3	Verfahren und Werkzeugmaschinen	299
2.9.3.4	Entwicklungstendenzen	305
3	Richtwerte	306
3.1	Spezifische Schnittkräfte, Korrektur- und Verfahrensfaktoren (Tabellen 3.1 und 3.2)	306
3.2	Drehen (Tabellen 3.3 bis 3.19)	310
3.3	Hobeln und Stoßen (Tabellen 3.20 und 3.21)	327
3.4	Fräsen (Tabellen 3.22 bis 3.45)	328
3.5	Bohren, Senken, Reiben (Tabellen 3.46 bis 3.63)	344
3.6	Sägen (Tabellen 3.64 und 3.65)	354

3.7 Räumen (Tabellen 3.66 bis 3.68)	355
3.8 Schleifen (Tabellen 3.69 bis 3.76)	356
3.9 Zahradbearbeitung (Tabellen 3.77 bis 3.87)	361
3.10 Bearbeitung von Sonderwerkstoffen	366
3.10.1 Spanende Bearbeitung von Kunststoffen (Tabellen 3.88 bis 3.96)	366
3.10.2 Spanende Bearbeitung von hoch legierten Stählen (Tabellen 3.97 bis 3.109)	375
3.10.3 Spanen von Titan und Titanlegierungen (Tabellen 3.110 bis 3.112)	381
3.10.4 Spanen von partikelverstärktem Aluminium	384
3.11 Werkstoffe	385
3.11.1 Werkstoffgruppen (Tabellen 3.113 und 3.114)	385
3.11.2 Gegenüberstellung von alter (DIN) und neuer (Euro-Norm) Werkstoff- bezeichnung	388
3.12 Schneidstoffe	392
3.12.1 Schnellarbeitsstahl (Tabellen 3.116 bis 3.118)	392
3.12.2 Hartmetall (Tabellen 3.119 und 3.121)	394
Literaturverzeichnis	396
Weiterführende Literatur	408
Normen und Richtlinien	410
Sachwortverzeichnis	423