

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen der Zerspanung am Beispiel Drehen</b> .....	<b>4</b>
2.1	Flächen, Schneiden und Ecken am Schneidkeil nach DIN 6581 .....	4
2.2	Bezugsebenen .....	5
2.3	Winkel am Schneidkeil .....	6
2.3.1	Winkel, die in der Werkzeugbezugsebene gemessen werden .....	6
2.3.2	Winkel, der in der Schneidenebene gemessen wird, Neigungswinkel $\lambda$ ..	6
2.3.3	Winkel, die in der Keilmessebene gemessen werden .....	6
2.4	Einfluss der Winkel auf den Zerspanvorgang .....	8
2.5	Spanungsgrößen .....	14
2.5.1	Spanungsbreite $b$ .....	14
2.5.2	Spanungsdicke $h$ .....	14
2.5.3	Spanungsquerschnitt $A$ .....	14
2.6	Zerspanungskräfte und ihre Entstehung .....	15
2.6.1	Entstehung der Kräfte .....	15
2.6.2	Spezifische Schnittkraft $k_C$ und ihre Einflussgrößen .....	16
2.6.3	Hauptschnittkraft $F_C$ .....	19
2.7	Leistungsberechnung .....	19
2.7.1	Zerspanungsleistung $P_C$ aus der Hauptschnittkraft .....	20
2.7.2	Maschinen-Antriebsleistung $P$ .....	21
<b>3</b>	<b>Standzeit <math>T</math></b> .....	<b>22</b>
3.1	Definition .....	22
3.2	Merkmale für die Abstumpfung .....	22
3.2.1	Schneidstoffe, bei denen die Temperatur die Hauptursache für die Abstumpfung ist .....	22
3.2.2	Schneidstoffe, bei denen der Abrieb Hauptursache für die Abstumpfung ist .....	22
3.2.3	Arten des Verschleißes .....	22
3.3	Einflüsse auf die Standzeit .....	24
3.3.1	Werkstückwerkstoff .....	24
3.3.2	Schneidstoff .....	24
3.3.3	Schneidenform .....	24
3.3.4	Oberfläche .....	25
3.3.5	Steife .....	25
3.3.6	Spanungsquerschnitt .....	25
3.3.7	Kühlschmiermittel .....	25
3.3.8	Schnittgeschwindigkeit .....	25
3.4	Berechnung und Darstellung der Standzeit .....	25
3.5	Größe der Standzeit und Zuordnung der Schnittgeschwindigkeit .....	27
3.6	Kostengünstigste Standzeit .....	27

<b>4</b>	<b>Werkzeug- und Maschinen-Gerade</b> .....	28
4.1	Werkzeug-Gerade .....	28
4.2	Maschinen-Gerade .....	29
4.3	Optimaler Arbeitsbereich .....	31
<b>5</b>	<b>Spanvolumen und Spanraumzahl</b> .....	32
5.1	Spanvolumen .....	32
5.2	Spanformen .....	32
5.2.1	Transportfähigkeit .....	32
5.2.2	Gefahr für den Menschen an der Maschine .....	33
5.3	Spanraumzahlen .....	33
<b>6</b>	<b>Schneidstoffe</b> .....	34
6.1	Werkzeugstähle .....	34
6.2	Schnellarbeitsstähle .....	34
6.3	Hartmetalle .....	36
6.4	Schneidkeramik .....	40
6.5	Schneiddiamanten .....	41
6.6	Kubisches Bornitrid .....	44
6.7	Vergleich der Schneidstoffe .....	44
<b>7</b>	<b>Drehen</b> .....	48
7.1	Definition .....	48
7.2	Drehverfahren .....	48
7.2.1	Langdrehen .....	48
7.2.2	Plandrehen .....	48
7.2.3	Stechen (Stechdrehen) .....	49
7.2.4	Profildrehen .....	50
7.2.5	Kegeldrehen .....	50
7.2.6	Gewindedrehen .....	51
7.2.7	Formdrehen .....	52
7.3	Erreichbare Genauigkeiten beim Drehen .....	57
7.3.1	Maßgenauigkeiten .....	57
7.3.2	Oberflächenrauigkeit .....	57
7.4	Spannelemente .....	59
7.4.1	Werkstückspannung .....	59
7.4.2	Spannelemente zum Spannen der Werkzeuge .....	65
7.5	Kraft- und Leistungsberechnung .....	67
7.6	Bestimmung der Hauptzeit $t_h$ .....	69
7.6.1	Langdrehen .....	69
7.6.2	Plandrehen .....	70
7.6.3	Gewindedrehen .....	71
7.7	Bestimmung der Zykluszeit .....	71
7.8	Drehwerkzeuge .....	72
7.8.1	Ausbildung des Schneidenkopfes .....	72
7.8.2	Klemmhalter .....	73
7.8.3	Drehwerkzeuge zum Gewindedrehen .....	76
7.8.4	Profildrehmeißel .....	79

7.8.5	Werkzeuge zum Kopieren und Formdrehen .....	79
7.8.6	Spanformstufen .....	79
7.8.7	Fasen am Drehmeißel .....	82
7.9	Fehler beim Drehen .....	83
7.9.1	Werkzeugfehler .....	83
7.9.2	Werkstückfehler .....	83
7.10	Richtwerttabellen .....	84
7.11	Berechnungsbeispiele .....	91
<b>8</b>	<b>Bohren</b> .....	<b>94</b>
8.1	Definition .....	94
8.2	Bohrverfahren .....	94
8.2.1	Bohren ins Volle .....	94
8.2.2	Aufbohren – Ausdrehen .....	94
8.2.3	Senken .....	96
8.2.4	Reiben .....	96
8.2.5	Gewindeschneiden mit Gewindeschneidbohrern .....	96
8.3	Erzeugung und Aufgaben der Bohrungen .....	96
8.3.1	Grund- oder Sacklochbohrung .....	96
8.3.2	Durchgangsbohrung .....	96
8.3.3	Kegelige Bohrung .....	97
8.3.4	Senkbohrung .....	97
8.3.5	Gewindebohrung .....	97
8.4	Erreichbare Genauigkeiten beim Bohren .....	98
8.5	Kraft-, Drehmoment- und Leistungsberechnung .....	98
8.5.1	Bohren ins Volle .....	99
8.5.2	Aufbohren .....	101
8.5.3	Senken .....	102
8.5.4	Reiben .....	103
8.5.5	Gewindeschneiden mit Gewindeschneidbohrern .....	104
8.6	Bestimmung der Hauptzeit (Maschinenzeit) .....	104
8.6.1	Bohren ins Volle .....	105
8.6.2	Aufbohren mit dem Wendelbohrer .....	106
8.6.3	Plansenken .....	106
8.6.4	Gewindeschneiden .....	106
8.7	Bohrwerkzeuge .....	108
8.7.1	Wendelbohrer .....	108
8.7.2	Wendelsenker .....	116
8.7.3	Plan- und Profilsenker .....	118
8.7.4	Zentrierbohrer .....	119
8.7.5	Ausdrehwerkzeuge .....	121
8.7.6	Reibwerkzeuge .....	123
8.7.7	Gewindeschneidbohrer .....	126
8.8	Fehler beim Bohren .....	129
8.8.1	Werkzeugfehler .....	129
8.8.2	Werkstückfehler .....	130
8.9	Richtwerte für die Bohrverfahren .....	130
8.10	Beispiele .....	133

<b>9 Sägen</b> .....	136
9.1 Definition .....	136
9.2 Sägeverfahren .....	136
9.2.1 Sägen mit Sägeblatt .....	136
9.2.2 Sägen mit endlosen Sägebändern .....	136
9.2.3 Sägen mit Kreissägeblättern .....	136
9.3 Aufgaben und Einsatzgebiete der Sägeverfahren .....	137
9.4 Erreichbare Genauigkeiten beim Sägen .....	137
9.5 Kraft- und Leistungsberechnung .....	138
9.5.1 Beziehungen, die für alle Sägeverfahren gültig sind .....	138
9.5.2 Sägen mit Sägeblatt oder Sägeband .....	140
9.5.3 Sägen mit Kreissägeblatt .....	140
9.6 Bestimmung der Hauptzeit .....	142
9.6.1 Sägen mit Kreissägeblatt Rechteckquerschnitt .....	142
9.6.2 Sägen mit Sägeblatt oder Sägeband .....	143
9.7 Sägewerkzeug .....	144
9.7.1 Winkel und Teilung am Sägezahn .....	144
9.7.2 Zahnformen und Ausführungsformen der Sägewerkzeuge .....	144
9.7.3 Schneidstoffe .....	152
9.8 Fehler beim Sägen .....	153
9.9 Richtwerttabellen .....	155
9.10 Beispiele .....	157
<b>10 Fräsen</b> .....	160
10.1 Definition .....	160
10.2 Fräsverfahren .....	160
10.2.1 Walzenfräsen .....	160
10.2.2 Stirnfräsen .....	161
10.2.3 Profilfräsen .....	162
10.2.4 Nutenfräsen .....	163
10.2.5 Formfräsen .....	165
10.3 Anwendung der Fräsverfahren .....	165
10.3.1 Walzenfräsen .....	165
10.3.2 Stirnfräsen .....	165
10.3.3 Profilfräsen .....	165
10.3.4 Nutenfräsen .....	166
10.3.5 Formfräsen .....	166
10.4 Erreichbare Genauigkeiten beim Fräsen .....	166
10.5 Kraft- und Leistungsberechnung .....	166
10.5.1 Walzenfräsen .....	166
10.5.2 Stirnfräsen .....	170
10.5.3 Vereinfachte Leistungsberechnung für das Walzen- und Stirnfräsen .....	173
10.6 Hauptzeiten beim Fräsen .....	175
10.6.1 Walzenfräsen .....	175
10.6.2 Stirnfräsen .....	175
10.6.3 Nutenfräsen .....	177
10.6.4 Kurzgewindefräsen .....	177
10.6.5 Langgewindefräsen .....	177

10.7	Fräswerkzeuge .....	178
10.7.1	Schneidenform und Zähnezahl am Fräser .....	178
10.7.2	Spannutenrichtung, Drallwinkel und Schneidrichtung des Fräasers .....	178
10.7.3	Schneidengeometrie an Fräswerkzeugen .....	178
10.7.4	Ausführungsformen und Einsatzgebiete der Walzenfräser .....	182
10.7.5	Messerköpfe .....	190
10.7.6	Werkzeugaufnahmen für Walzenfräser .....	193
10.7.7	Befestigungen für Messerköpfe .....	199
10.7.8	Schneidstoffe .....	200
10.8	Fehler beim Fräsen .....	201
10.9	Richtwerttabellen .....	202
10.10	Beispiele .....	205
10.11	Zahnradherstellverfahren .....	209
<b>11</b>	<b>Räumen .....</b>	<b>212</b>
11.1	Definition .....	212
11.2	Räumverfahren .....	212
11.2.1	Innenräumen .....	212
11.2.2	Außenräumen .....	212
11.3	Anwendung der Räumverfahren .....	212
11.3.1	Innenräumen .....	212
11.3.2	Außenräumen .....	213
11.4	Erreichbare Genauigkeiten .....	214
11.4.1	Maßgenauigkeit .....	214
11.4.2	Oberflächengüte .....	215
11.5	Kraft- und Leistungsberechnung .....	215
11.6	Bestimmung der Hauptzeit .....	219
11.7	Räumwerkzeuge .....	221
11.7.1	Schneidengeometrie der Räumnadel .....	221
11.7.2	Gestaltung der Räumnadelzähne .....	222
11.7.3	Werkstoffe für Räumwerkzeuge .....	227
11.8	Fehler beim Räumen .....	229
11.8.1	Werkzeugfehler .....	229
11.8.2	Werkstückfehler .....	230
11.9	Richtwerttabellen .....	230
11.10	Berechnungsbeispiel .....	230
<b>12</b>	<b>Schleifen .....</b>	<b>234</b>
12.1	Definition .....	234
12.2	Schleifverfahren .....	234
12.2.1	Planschleifen .....	234
12.2.2	Profilschleifen .....	237
12.2.3	Rundschleifen .....	237
12.2.4	Zerspandaten für Planschleifen und Rundschleifen mit eingespanntem Werkstück .....	241
12.2.5	Spitzenloses Schleifen .....	242
12.2.6	Trennschleifen .....	246
12.2.7	Kontaktschleifen .....	246

- 12.3 Anwendung der Schleifverfahren ..... 248
  - 12.3.1 Planschleifen ..... 248
  - 12.3.2 Profilschleifen ..... 248
  - 12.3.3 Rundschleifen ..... 249
  - 12.3.4 Trennschleifen ..... 251
  - 12.3.5 Kontaktschleifen mit Schleifbändern ..... 252
- 12.4 Erreichbare Genauigkeiten und BearbeitungsaufmaÙe beim Schleifen ..... 253
- 12.5 Kraft- und Leistungsberechnung ..... 253
- 12.6 Bestimmung der Hauptzeit ..... 258
  - 12.6.1 Planschleifen ..... 258
  - 12.6.2 Außen- und Innenrundschleifen ..... 259
  - 12.6.3 Spitzenloses Schleifen ..... 260
- 12.7 Schleifwerkzeuge ..... 261
  - 12.7.1 Schleifmittel ..... 261
  - 12.7.2 Körnungen ..... 263
  - 12.7.3 Härtegrade ..... 264
  - 12.7.4 Gefüge der Schleifscheibe ..... 264
  - 12.7.5 Bindungsarten ..... 264
  - 12.7.6 Ausführungsformen und Bezeichnung der Schleifscheiben ..... 265
  - 12.7.7 Befestigung der Schleifscheiben ..... 269
  - 12.7.8 Auswahl der Schleifscheiben für bestimmte Einsatzgebiete ..... 270
- 12.8 Fehler beim Schleifen ..... 271
  - 12.8.1 Einflussgrößen auf den Schleifvorgang ..... 271
  - 12.8.2 Fehlertabelle ..... 272
- 12.9 Richtwerttabellen ..... 273
- 12.10 Berechnungsbeispiele ..... 277
  
- 13 Honen** ..... 282
  - 13.1 Langhubhonen ..... 282
  - 13.2 Kurzhubhonen ..... 290
  
- 14 Läppen** ..... 294
  - 14.1 Anwendung des Läppens ..... 295
  - 14.2 Drahttrennläppen ..... 297
  
- 15 Hochgeschwindigkeitszerspanung (HSC)** ..... 299
  - 15.1 Definition ..... 299
  - 15.2 Einführung in die HSC-Zerspanung ..... 299
  - 15.3 Anwendung der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung ..... 301
    - 15.3.1 HSC-Verfahren ..... 301
    - 15.3.2 HSC-Maschinen ..... 302
    - 15.3.3 Werkzeuge für das HSC-Fräsen ..... 312
    - 15.3.4 Mikrozerspanung ..... 317
    - 15.3.5 Zerspanungsrichtwerte für die Hochgeschwindigkeits-Fräs- und Drehbearbeitung ..... 320

<b>16 Kühl- und Schmiermittel für die Zerspanung</b> .....	327
16.1 Einführung .....	327
16.2 Nassbearbeitung .....	327
16.3 Minimalmengen-Kühlschmierung (MMKS) .....	328
16.4 Trockenbearbeitung .....	332
<b>17 Kraftmessung beim Zerspanen</b> .....	333
17.1 Einführung .....	333
17.2 Kraftmessung beim Drehen .....	334
17.3 Kraftmessung beim Bohren und Fräsen .....	335
17.4 Kraftmessung beim Räumen .....	338
<b>18 Abtragen</b> .....	340
18.1 Abtragen durch Funkenerosion .....	340
18.1.2 Senkerodieren .....	341
18.1.3 Drahterodieren (Schneiden) .....	347
18.1.4 Mikroerodieren .....	353
<b>19 Allgemeine Tabellen</b> .....	358
<b>20 Anhang</b> .....	370
20.1 Testfragen .....	370
20.2 Gegenüberstellung von alter (DIN) und neuer (Euro-Norm) Werkstoffbezeichnung .....	374
20.3 Firmenanschriften .....	379
<b>Literaturverzeichnis (weiterführende Literatur)</b> .....	383
<b>Sachwortverzeichnis</b> .....	389