



Leseprobe

Werner Degner, Hans Lutze, Erhard Smejkal

Spanende Formung

Theorie, Berechnung, Richtwerte

ISBN (Buch): 978-3-446-44544-4

ISBN (E-Book): 978-3-446-44583-3

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44544-4>

sowie im Buchhandel.

# Vorwort

Mit der Herausgabe dieser 17. Auflage liegt eine wiederum überarbeitete Fassung der „Spanenden Formung“ vor. Der ursprüngliche Grundgedanke von Anbeginn in den 60er-Jahren war, ein Buch zu schaffen, das theoretisches und praktisches Wissen auf dem speziellen Gebiet der spanenden Formung miteinander verbindet. Damit sollte es sowohl den theoretisch Interessierten als auch den praktisch Tätigen ansprechen, insbesondere aber auch die Studierenden an technischen Bildungseinrichtungen.

Im Verlauf der Jahre hat sich gezeigt, dass die gewählte Dreiteilung des Kompendiums in Theorie – Berechnung – Richtwerte bei den Lesern sehr gut angekommen ist und sich ausgezeichnet bewährt hat. Die kurz gefasste Theorie legt dabei keinen Wert auf eine „Neue Spanungslehre“, sie soll die wichtigsten theoretischen Zusammenhänge des Spanens, aufgebaut auf dem neuesten Stand der durch die nationalen und internationalen Normen (DIN, EN und ISO) sowie VDI-Richtlinien belegten Grundlagen und Begriffe, darstellen. Gleichzeitig bildet sie die Basis für den zweiten Teil, die Berechnungsgrundlagen für die wichtigsten spanenden Verfahren. Hier steht neben der Hauptzeitberechnung generell die Schnittkraft- und Leistungsberechnung im Mittelpunkt. Für alle behandelten Verfahren erfolgt die Schnittkraftberechnung nach der bewährten KIENZLESchen Grundgleichung.

Hinsichtlich der Probleme der Trockenbearbeitung, Hochgeschwindigkeitsbearbeitung und der Oberflächeneigenschaften wurden eigene, in der Industrie durchgeführte Untersuchungen und erprobte Ergebnisse aufgenommen. Die mehr beschreibende Form der neu aufgenommenen Feinbearbeitungsverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide im Berechnungsteil wird dabei die ursprüngliche Konzeption nicht stören.

Die „Spanende Formung“ hat sich im Laufe von fast 50 Jahren zu einem Standardwerk der deutschsprachigen fertigungstechnischen Fachliteratur entwickelt, was über 69 000 Exemplare in nunmehr 17 Auflagen beweisen. Das trifft besonders auf den Teil Richtwerte zu, der im Laufe der Jahre historisch gewachsen ist. Es steht somit Altes, Bewährtes und immer noch Gültiges neben neuen Erkenntnissen.

Einen großen Einschnitt bedeutet die nationale und internationale Normung der Werkstoffe in den letzten Jahren. Da es praktisch unmöglich ist, sämtliche Richtwerttabellen auf die neuen Werkstoffbezeichnungen umzustellen, wurde ein umfangreicher Tabellenteil – über 125 Werkstoffe – mit alter und neuer Werkstoffbezeichnung sowie DIN- und EN-Verweis eingefügt, der dem Nutzer des Buches die Zuordnung zu den aktuellen Werkstoffen ermöglicht. Ebenso bringt die neu strukturierte und stark erweiterte Zusammenstellung von aktuellen Normen und VDI-Richtlinien einen großen praktischen Nutzen und Sicherheit für die Anwendung.

Die Art der Darstellung der Richtwerte konnte sich bis heute behaupten, sie bildet eine sinnvolle Ergänzung zu den Berechnungsgrundlagen und erspart dem Nutzer dieses Buches die mühevollen Arbeit, Richtwerte selbst zusammenzutragen.

Unser Mitautor und Freund, Herr Prof. Dr.-Ing. habil. *Werner Degner*, ist Ende 2002, kurz nach Fertigstellung der 15. Auflage verstorben. Für die langjährige gemeinsame Arbeit an der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt/Technischen Universität Chemnitz und an diesem Buch sind wir ihm zu großem Dank verpflichtet.

Die Autoren danken vor allem dem Carl Hanser Verlag, dass er mit dieser überarbeiteten Auflage das in fast fünf Jahrzehnten bewährte Lehr- und Fachbuch in gewohnter bester Qualität herausgebracht hat; besonders hierbei *Jochen Horn* für die Zusammenarbeit in den letzten 4 Auflagen. Für die 17. Auflage gilt der besondere Dank unserer Lektorin, Frau *Ute Eckardt* und unserer Herstellerin, Frau *Katrin Wulst*, die uns bestens unterstützt haben. Das Gleiche gilt für den ausgezeichneten Satz durch die Fa. Satzherstellung Dr. Naake, Brand-Erbisdorf.

Wir wünschen dem Buch wiederum eine gute Aufnahme und einen interessierten breiten Leser- und Nutzerkreis.

Chemnitz und Geyer, August 2015

*Hans Lutze  
Erhard Smejkal*

# Geleitwort zur 17. Auflage

Auch im Zeitalter der globalen Produktion und des elektronischen Business ist es notwendig, technisches Grundwissen konventioneller Technologien weiterzuentwickeln und zur Leistungssteigerung der Produktion einzusetzen. Gerade die spanende Formung erfuhr in den vergangenen Jahren erhebliche Impulse durch technische Weiterentwicklungen und Innovationen, welche maßgeblich zur Leistungssteigerung der Prozesse beitragen werden. Erinnert sei an die Erfolge in der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung, die Trockenbearbeitung und die Präzisionsbearbeitung. In der Praxis werden die Leistungen in Kosten, Zeiten und Qualität bewertet. In den Grenzbereichen der Technik und der Prozesse können die entscheidenden Vorteile im Wettbewerb erreicht werden.

Theoretisches und praktisches Wissen auf dem Gebiet der spanenden Formung ist in diesem Buch zusammengeflossen. In die Neuauflage wurden jüngste Fortschritte in der Technologie aufgenommen, sodass sowohl Studierenden als auch Ingenieuren und Technikern ein umfassendes Werk für das Grundwissen der spanenden Formung und deren Anwendung zur Verfügung steht. Tabellen mit Richtwerten wurden aktualisiert. Der Praktiker wird hieraus viele Hinweise, aber auch bewährtes Wissen entnehmen, das ihm hilft, Prozesse und Parameter in der industriellen Fertigung zu optimieren. Denjenigen, die Erklärungen und Modelle für Wirkzusammenhänge benötigen, stehen in diesem Buch Theorien, Methoden der Analyse und Berechnung sowie klar definierte Begriffe zur Verfügung. Die einschlägigen Normen und Standards wurden einbezogen.

Das Buch vermittelt den aktuellen Stand der Technik, der allerdings vielfach über dem Stand der Praxis liegt. Ich bin sicher, dass allein daraus viele wertvolle Informationen für die Verbesserungsprozesse gezogen werden können. Traditionell suchen die Ingenieure der Produktionstechnik eine Verknüpfung von technologischen Faktoren und Parametern mit der betriebswirtschaftlichen Bewertung. Auch dieser Aspekt wurde im Buch eingearbeitet und macht es damit zu einem Standardwerk der Produktionstechnik.

Ich wünsche diesem Werk wiederum eine weite Verbreitung und den Lesern einen hohen Gewinn aus dem im Buch in vorbildlicher Weise dargestellten Wissen.

Stuttgart, im August 2015

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e. h.  
Dr.-Ing. e. h. Dr. h. c. mult. *Engelbert Westkämper*  
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik  
und Automatisierung IPA Stuttgart

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	15
<b>1 Theorie der spanenden Formung</b> .....	17
<b>1.1 Begriffe der spanenden Formung</b> .....	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
<b>1.2 Vorgänge bei der Spanbildung</b> .....	48
1.2.1 Mechanik der Spanbildung .....	48
1.2.1.1 Plastizitätsmechanische Theorie der Spanbildung .....	48
1.2.1.2 Scherwinkelbeziehungen .....	49
1.2.1.3 Spanstauchung .....	50
1.2.1.4 Geschwindigkeitsverhältnisse .....	51
1.2.1.5 Kräfteverhältnisse .....	52

1.2.2	Spanarten und Spanformen	54
1.2.2.1	Spanarten	54
1.2.2.2	Spanformen	57
1.2.3	Auswirkungen des Spanbildungsprozesses	59
<b>1.3</b>	<b>Schneidstoffe und ihre Anwendung</b>	<b>60</b>
1.3.0	Allgemeine Betrachtungen	60
1.3.1	Werkzeugstähle, unlegiert und legiert	64
1.3.2	Schnellarbeitsstähle	64
1.3.3	Gegossene Hartlegierungen	67
1.3.4	Hartmetalle (Sinterhartmetalle)	68
1.3.5	Schneidkeramik	72
1.3.5.1	Eigenschaften	72
1.3.5.2	Anwendung und Einsatz	74
1.3.6	Superharte Schneidstoffe (Diamant, Bornitrid)	75
1.3.7	Schleifmittel	77
<b>1.4</b>	<b>Temperatur, Verschleiß und Standzeit</b>	<b>79</b>
1.4.1	Spannungstemperatur	79
1.4.2	Verschleißursachen	81
1.4.3	Verschleißarten	82
1.4.4	Auswirkungen des Verschleißes	83
1.4.5	Verschleißkriterien	83
1.4.6	Standzeit	84
1.4.6.1	Definition des Standzeitbegriffs	84
1.4.6.2	Standzeitdiagramm und Einflussgrößen auf die Standzeit	84
1.4.6.3	Standzeitgleichung	88
<b>1.5</b>	<b>Schnittkraft und Leistung</b>	<b>90</b>
1.5.1	Zerspankraft und ihre Komponenten	90
1.5.2	Schnittkraft und spezifische Schnittkraft	91
1.5.3	Einflussgrößen auf Schnittkraft und spezifische Schnittkraft	91
1.5.4	Berechnung der Schnittkraft	96
1.5.5	Vorschub- und Passivkraft	100
1.5.5.1	Einflussgrößen	100
1.5.5.2	Berechnung der Vorschub- und Passivkraft	101
1.5.5.3	Berechnung der Schnittkraft im Gebiet der spanenden Feinbearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide	102
1.5.6	Leistung	106
1.5.7	Zeitspanvolumen und spezifisches Spanvolumen	106
1.5.8	Maschinenauslastung	107
1.5.9	Energieaufwand	109
1.5.10	Schnittwertoptimierung	113
<b>1.6</b>	<b>Oberflächenqualität</b>	<b>114</b>
1.6.1	Oberflächengestalt	114

1.6.2	Oberflächenbeschaffenheit	119
1.6.3	Oberflächenverhalten	121
<b>1.7</b>	<b>Spanbarkeit und Spanbarkeitsprüfung von Stahlwerkstoffen</b>	<b>123</b>
<b>1.8</b>	<b>Kühlschmierstoffe</b>	<b>127</b>
1.8.1	Eigenschaften und Anwendung	127
1.8.2	Auswirkungen der Kühlschmierstoffe auf Standzeit, Oberflächenqualität und Schnittkräfte	130
1.8.3	Auswahl von Kühlschmierstoffen	131
<b>1.9</b>	<b>Probleme der Nass- und Trockenbearbeitung</b>	<b>133</b>
1.9.1	Vorbetrachtungen	133
1.9.2	Zusammengefasste Vorteile und Nachteile der Nass- und Trockenbearbeitung	134
1.9.3	Darstellung der Möglichkeiten der Trockenbearbeitung	137
1.9.4	Trockenbearbeitung unter Einsatz beschichteter HSS-, Hartmetall- und Keramikwerkzeuge	139
<b>1.10</b>	<b>Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC – High-speed-cutting)</b>	<b>144</b>
1.10.1	Grundsätzliches zur HSC	144
1.10.2	Praktische Realisierung der HSC	145
<b>2</b>	<b>Berechnung</b>	<b>153</b>
<b>2.1</b>	<b>Drehen</b>	<b>153</b>
2.1.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	153
2.1.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	153
2.1.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	154
2.1.2	Berechnung der Hauptzeit	155
2.1.2.1	Langdrehen	155
2.1.2.2	Gewindedrehen	156
2.1.2.3	Kegeldrehen	157
2.1.2.4	Plandrehen	159
2.1.2.5	Planringdrehen	161
2.1.2.6	Nachformdrehen	162
2.1.2.7	Drehen auf Automaten	165
2.1.3	Berechnungsbeispiel	166
<b>2.2</b>	<b>Hobeln und Stoßen</b>	<b>168</b>
2.2.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	168
2.2.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	168
2.2.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	168
2.2.2	Berechnung der Hauptzeit	169
2.2.3	Berechnungsbeispiel	170
<b>2.3</b>	<b>Fräsen</b>	<b>172</b>
2.3.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	172
2.3.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	172
2.3.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	178

---

2.3.2	Berechnung der Hauptzeit	181
2.3.2.1	Umfangsfräsen	181
2.3.2.2	Stirnfräsen	182
2.3.2.3	Nutenfräsen auf Nutenfräsmaschinen	184
2.3.2.4	Gewindefräsen	185
2.3.3	Berechnungsbeispiele	187
2.3.3.1	Stirnfräsen	187
2.3.3.2	Umfangsfräsen	190
<b>2.4</b>	<b>Bohren, Senken, Reiben</b>	<b>192</b>
2.4.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	192
2.4.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	192
2.4.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	198
2.4.2	Berechnung der Hauptzeit	200
2.4.2.1	Bohren und Aufbohren mit Spiralbohrer	200
2.4.2.2	Senken und Reiben	202
2.4.3	Berechnungsbeispiel	202
<b>2.5</b>	<b>Sägen</b>	<b>203</b>
2.5.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	203
2.5.1.1	Technisch-mathematische Zusammenhänge	203
2.5.1.2	Zusammenstellung der Gleichungen	206
2.5.2	Berechnung der Hauptzeit	207
2.5.3	Berechnungsbeispiel	207
<b>2.6</b>	<b>Räumen</b>	<b>208</b>
2.6.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	208
2.6.2	Berechnung der Teilung des Räumwerkzeugs	209
2.6.2.1	Berücksichtigung der Aufnahmefähigkeit des Spanraums	210
2.6.2.2	Berücksichtigung der Zug- oder Druckkraft der Maschine	210
2.6.2.3	Berücksichtigung der Festigkeit des Räumwerkzeugs	211
2.6.2.4	Weitere Größen der Zahnung am Räumwerkzeug	212
2.6.3	Zusammenstellung der Gleichungen	213
2.6.4	Berechnung der Hauptzeit	214
2.6.5	Berechnungsbeispiel	215
<b>2.7</b>	<b>Schleifen</b>	<b>218</b>
2.7.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung beim Schleifen	218
2.7.2	Berechnung der Hauptzeit	221
2.7.2.1	Rundschleifen	221
2.7.2.2	Flachschleifen	223
2.7.3	Berechnungsbeispiel	225
<b>2.8</b>	<b>Zahnradbearbeitung</b>	<b>227</b>
2.8.1	Schnittkraft- und Leistungsberechnung	227
2.8.1.1	Wälzfräsen (gerad- und schrägverzahnte Stirnräder)	227
2.8.1.2	Wälzstoßen (geradverzahnte Stirnräder)	229



2.8.1.3	Zahnflankenschleifen (geradverzahnte Stirnräder) . . . . .	229
2.8.1.4	Berechnungsbeispiele . . . . .	230
2.8.2	Berechnung der Hauptzeit – Verfahrensüberblick . . . . .	232
2.8.2.1	Stirnradbearbeitung . . . . .	232
2.8.2.2	Bearbeitung von Schneckenrieben . . . . .	245
2.8.2.3	Kegelradbearbeitung . . . . .	252
2.8.2.4	Berechnungsbeispiele . . . . .	259
2.8.3	Anmerkungen zu den Verzahnungsverfahren . . . . .	264
<b>2.9</b>	<b>Feinbearbeitungsverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide</b> . . . . .	<b>265</b>
2.9.1	Honen . . . . .	266
2.9.1.1	Verfahrenseinführung . . . . .	266
2.9.1.2	Genauigkeit beim Honen . . . . .	267
2.9.1.3	Werkstück und Fertigungsergebnis . . . . .	267
2.9.1.4	Werkzeug und Fertigungsergebnis . . . . .	268
2.9.1.5	Werkzeugmaschine und Fertigungsergebnis . . . . .	270
2.9.1.6	Wirtschaftlichkeit und Entwicklungstendenzen . . . . .	272
2.9.2	Superfinish . . . . .	272
2.9.2.1	Verfahrenseinführung . . . . .	272
2.9.2.2	Genauigkeit beim Superfinish . . . . .	273
2.9.2.3	Werkstück und Fertigungsergebnis . . . . .	274
2.9.2.4	Werkzeug und Fertigungsergebnis . . . . .	275
2.9.2.5	Werkzeugmaschine und Fertigungsergebnis . . . . .	276
2.9.2.6	Wirtschaftlichkeit . . . . .	278
2.9.3	Läppen . . . . .	279
2.9.3.1	Verfahrenseinführung . . . . .	279
2.9.3.2	Genauigkeit beim Läppen . . . . .	283
2.9.3.3	Verfahren und Werkzeugmaschinen . . . . .	284
2.9.3.4	Entwicklungstendenzen . . . . .	290
<b>3</b>	<b>Richtwerte</b> . . . . .	<b>291</b>
3.1	<b>Spezifische Schnittkräfte, Korrektur- und Verfahrensfaktoren</b> (Tabellen 3.1 und 3.2) . . . . .	291
3.2	<b>Drehen (Tabellen 3.3 bis 3.19)</b> . . . . .	295
3.3	<b>Hobeln und Stoßen (Tabellen 3.20 und 3.21)</b> . . . . .	312
3.4	<b>Fräsen (Tabellen 3.22 bis 3.45)</b> . . . . .	313
3.5	<b>Bohren, Senken, Reiben (Tabellen 3.46 bis 3.63)</b> . . . . .	329
3.6	<b>Sägen (Tabellen 3.64 und 3.65)</b> . . . . .	339
3.7	<b>Räumen (Tabellen 3.66 bis 3.68)</b> . . . . .	340
3.8	<b>Schleifen (Tabellen 3.69 bis 3.76)</b> . . . . .	341
3.9	<b>Zahnbearbeitung (Tabellen 3.77 bis 3.87)</b> . . . . .	346
3.10	<b>Bearbeitung von Sonderwerkstoffen</b> . . . . .	351
3.10.1	Spanende Bearbeitung von Kunststoffen (Tabellen 3.88 bis 3.96) . . . . .	351
3.10.2	Spanende Bearbeitung von hoch legierten Stählen (Tabellen 3.97 bis 3.109) . . . . .	360

---

3.10.3	Spanen von Titan und Titanlegierungen (Tabellen 3.110 bis 3.112)	366
3.10.4	Spanen von partikelverstärktem Aluminium	369
<b>3.11</b>	<b>Werkstoffe</b>	<b>370</b>
3.11.1	Werkstoffgruppen (Tabellen 3.113 und 3.114)	370
3.11.2	Gegenüberstellung von alter (DIN) und neuer (Euro-Norm) Werkstoffbezeichnung	373
<b>3.12</b>	<b>Schneidstoffe</b>	<b>377</b>
3.12.1	Schnellarbeitsstahl (Tabellen 3.116 bis 3.118)	377
3.12.2	Hartmetall (Tabellen 3.119 und 3.120)	379
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>382</b>
<b>Weiterführende Literatur</b>		<b>391</b>
<b>Normen und Richtlinien</b>		<b>392</b>
<b>Sachwortverzeichnis</b>		<b>405</b>

## 2 Berechnung

Die Berechnungen der Schnittkräfte, Leistungen und Hauptzeiten sind sowohl für herkömmliche als auch für numerisch gesteuerte spanende Werkzeugmaschinen, Maschinensysteme und Fertigungszellen allgemein gültig. CNC-gesteuerte Maschinen sind universeller einsetzbar, erhöhen die Werkstückqualität und Produktivität gegenüber konventionellen Maschinen. Da komplizierte Getriebezüge wegfallen (vor allem bei Verzahnmaschinen), Einzelantriebe und stufenlose Antriebe vorherrschen, verbessert sich der mechanische Wirkungsgrad der Maschinen. Das ist speziell bei der Berechnung der Antriebsleistung zu beachten. Der mechanische Wirkungsgrad wird bei CNC-Maschinen demzufolge etwa bei  $\eta = 0,8 \dots 0,9$  liegen.

### 2.1 Drehen

#### 2.1.1 Schnittkraft- und Leistungsberechnung

##### 2.1.1.1 Technisch-mathematische Zusammenhänge

Die Grundgleichung nach KIENZLE für die praktischen Schnittkraftberechnungen wurde bereits im Abschnitt 1.5.4 behandelt. Sie gilt in der dort angegebenen Form nur für das Drehen, sodass sie direkt übernommen werden kann.

Im Folgenden sei noch einmal zusammengefasst:

Für die Schnittkraft ergibt sich

$$F_c = bhk_c K_{\gamma_0} K_v K_{sch} K_{ver} \quad \text{in N} \quad (2.1)$$

Dabei ist die spezifische Schnittkraft

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^m} \quad \text{in N/mm}^2 \quad (2.2)$$

$k_{c1.1}$  Hauptwert der spezifischen Schnittkraft in  $\text{N/mm}^2$  bei einem gedachten Spanungsquerschnitt von 1 mm Spanungsdicke und 1 mm Spanungsbreite (Bild 1.74)

$1 - m$  Anstiegswert

$m = \tan \varrho$  Tangens des Steigungswinkels (Bild 1.74)

$$h = f \sin \alpha_r \quad \text{in mm} \quad \text{Spanungsdicke (Bild 1.75)} \quad (2.3)$$

$$b = \frac{a_p}{\sin \alpha_r} \quad \text{in mm} \quad \text{Spanungsbreite (Bild 1.75)} \quad (2.4)$$

$$A = bh = a_p f \quad \text{in mm}^2 \quad \text{Spannungsquerschnitt} \quad (2.5)$$

$$\alpha_r \quad \text{in Grad} \quad \text{Werkzeug-Einstellwinkel}$$

Die spezifische Schnittkraft  $k_c$  wird in Abhängigkeit von  $h = f \sin \alpha_r$  in mm aus Tabelle 3.1 ermittelt oder mit Gl. (2.2) berechnet. Die Werte für den Hauptwert der spezifischen Schnittkraft  $k_{c1.1}$  und den Anstiegswert  $m$  sind für die einzelnen Werkstoffe ebenfalls Tabelle 3.1 zu entnehmen. Hinsichtlich der Wahl der Korrekturfaktoren

$K_{\gamma_0}$  Spanwinkelkorrektur

$K_v$  Schnittgeschwindigkeitskorrektur

$K_{sch}$  Schneidstoffkorrektur

$K_{ver}$  Verschleißkorrektur

wird auf die Abschnitte 1.5.3 und 1.5.4 verwiesen. Außerdem sind die Korrekturfaktoren und Verfahrensfaktoren für die einzelnen Verfahren in Tabelle 3.2 zusammengefasst worden.

Es wird darauf hingewiesen, dass durch die in Gl. (2.1) angeführten Korrekturfaktoren nur die wichtigsten Einflussgrößen bei der Schnittkraftberechnung erfasst werden können. Das schließt demnach nicht aus, dass während des Spanungsvorgangs auch noch andere, von vornherein nicht abzusehende Einflüsse auf die Schnittkraft einwirken, die diese erhöhen oder senken können.

Die Schnittkraftberechnung – das gilt ebenso auch für alle anderen spanenden Verfahren – gestattet demzufolge nur eine „angenäherte“ Lösung. Eine vollkommen exakte Schnittkraftberechnung ist aufgrund der vielen Faktoren, die den Spanungsprozess beeinflussen, nicht möglich und für praktische Belange auch nicht erforderlich.

Die Schnittleistung errechnet sich zu

$$P_c = \frac{F_c v_c}{1\,000 \cdot 60} \quad \text{in kW} \quad (2.6)$$

und die Antriebsleistung zu

$$P_a = \frac{P_c}{\eta} = \frac{F_c v_c}{60\,000 \eta} \quad \text{in kW} \quad (2.7)$$

$F_c$  Schnittkraft in N

$v_c$  Schnittgeschwindigkeit in m/min

$\eta$  Wirkungsgrad der Maschine; er schwankt u. a. nach Drehzahl, Antriebsverhältnissen und Zustand (Alter) der Maschine zwischen  $\eta = 0,70$  und  $0,85$  [158]

### 2.1.1.2 Zusammenstellung der Gleichungen

Zur Schnittkraft- und Leistungsberechnung beim Drehen empfiehlt sich folgender systematischer Berechnungsgang:

1. 
$$h = f \sin \alpha_r \quad \text{in mm, [Gl. (2.3)]}$$

$$b = \frac{a_p}{\sin \alpha_r} \quad \text{in mm, [Gl. (2.4)]}$$

2.  $k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^m} \quad \text{in N/mm}^2, \text{ [Gl. (2.2)], } k_{c1.1} \text{ und } m \text{ nach Tabelle 3.1}$

3.  $A = bh = a_p f \quad \text{in mm}^2, \text{ [Gl. (2.5)]}$

4. Festlegung der Korrekturfaktoren

$$K_{\gamma_0} = 1 - \frac{\gamma_0 - \gamma_K}{66,7} \quad \text{[Gl. (1.78)], } K_v \text{ nach Bild 1.75 oder Tabelle 3.2}$$

$$K_{\text{sch}} = 0,9 \dots 0,95$$

$$K_{\text{ver}} = 1,3 \dots 1,5$$

5.  $F_c = bhk_c K_{\gamma_0} K_v K_{\text{sch}} K_{\text{ver}} \quad \text{in N, [Gl. (2.1)]}$

6.  $P_c = \frac{F_c v_c}{1\,000 \cdot 60} \quad \text{in kW, [Gl. (2.6)]}$

7.  $P_a = \frac{P_c}{\eta} \quad \text{in kW, [Gl. (2.7)]}$

## 2.1.2 Berechnung der Hauptzeit<sup>1)</sup>

### 2.1.2.1 Langdrehen

Die Hauptzeit ergibt sich zu

$$t_h = \frac{Li}{fn} = \frac{Li}{v_f} \quad \text{in min} \quad (2.8)$$

Setzt man in diese Gleichung aus

$$v_c = \frac{D\pi n}{1\,000} \quad \text{für} \quad n = \frac{v_c \cdot 1\,000}{D\pi} \quad \text{ein, so wird}$$

$$t_h = \frac{LD\pi i}{fv \cdot 1\,000} \quad \text{in in min} \quad (2.9)$$

$L$  Drehweg in mm (Vorschubweg) (Bild 2.1),  $L = l + 2Z_l + l_a + l_u$

$l_a$  Anlauf des Werkzeugs in mm

$l$  Werkstücklänge in mm (Fertiglänge nach Zeichnung)

<sup>1)</sup> Bezeichnungen, Kurzzeichen, Zeitgliederung nach [92]

- $l_u$  Überlauf des Werkzeugs in mm (für  $l_a$  und  $l_u$  genügt i. Allg. ein Zuschlag von einigen Millimetern)  
 $Z_1$  Längenzugabe in mm  
 $Z_a$  Durchmesserzugabe in mm  
 Längen- und Durchmesserzugabe sind nach den vorliegenden Verhältnissen (Rohlingsart, Güte des Werkstücks, Genauigkeit der Werkzeugmaschine usw.) zu bestimmen  
 $D$  Drehdurchmesser in mm,  $D = d + Z_a$   
 $n$  Drehzahl in U/min  
 $f$  Vorschub in mm/U  
 $v_f$  Vorschubgeschwindigkeit in mm/min  
 $v_c$  Schnittgeschwindigkeit in m/min  
 $i$  Anzahl der Schnitte  
 $d$  Fertigdurchmesser in mm

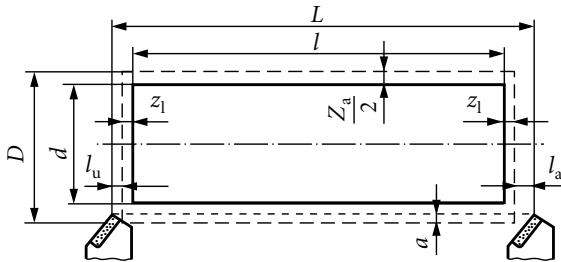


Bild 2.1 Vorschubweg und Bearbeitungszugaben am Drehteil

### 2.1.2.2 Gewindedrehen

Im Prinzip gelten dieselben Gleichungen wie beim Langdrehen, nur dass für den Vorschub  $f$  die Steigung des Gewindes  $P$  gesetzt wird und dass die Gangzahl des Gewindes  $g$  berücksichtigt werden muss.

$$t_h = \frac{Lig}{fn} \quad \text{in min} \quad (2.10)$$

$$t_h = \frac{Ld\pi ig}{fv_c \cdot 1000} \quad \text{in min} \quad (2.11)$$

Die Anzahl der Schnitte  $i$ , die zur Fertigstellung des Gewindes erforderlich sind, ist abhängig

- von der Gewindetiefe  $t_1$  (aus Gewindetabellen zu entnehmen)
- von der Tiefe eines Schnittes (Schnitttiefe  $a_p$ ).

Richtwerte siehe Tabelle 3.19.

Damit wird

$$i = \frac{t_1}{a_p} \quad (2.12)$$

wobei man überschlägig

$$a_p \approx \sqrt{\frac{d}{40}} \quad \text{in mm} \quad (2.13)$$

setzen kann [93, S. 27].

$d$  Gewindeaußendurchmesser

Erfolgt der Rücklauf mit einer bestimmten Rücklaufgeschwindigkeit, so ergibt sich die Gesamtzeit

### Vorlaufzeit + Rücklaufzeit

des Meißels aus dem Verhältnis der Geschwindigkeiten wie folgt:

$$\frac{v_r}{v_c} = q$$

$$v_r = v_c q$$

$$t_h = t_{hv} + t_{hr} = \frac{L d \pi i g}{f v_c \cdot 1\,000} + \frac{L d \pi i g}{f q v_c \cdot 1\,000}$$

$$t_h = \frac{L d \pi i g}{f v_c \cdot 1\,000} \left( \frac{q + 1}{q} \right) \quad \text{in min} \quad (2.14)$$

$v_c$  Schnittgeschwindigkeit in m/min

$v_r$  Rücklaufgeschwindigkeit in m/min

Exakt gesehen ist allerdings  $t_{hr}$  keine Hauptzeit, sondern Maschinenhilfszeit (s. auch bei Hobeln und Stoßen); das ist bei strenger Zeitgliederung, z. B. auf Fertigungsplänen, zu beachten.

### Vorbemerkung

In den folgenden Abschnitten

- 2.1.2.3 Kegeldrehen
- 2.1.2.4 Plandrehen
- 2.1.2.5 Planringdrehen
- 2.1.2.6 Nachformdrehen

werden die konventionellen Bearbeitungstechniken erläutert. Obwohl die NC-Technik in den unterschiedlichsten Automatisierungsstufen derzeit die Fertigung dominiert, werden hier die „klassischen“ Abläufe erläutert, um die Weg- und Zeitverhältnisse zu erklären und die Möglichkeiten der Intensivierung der Verfahren in ihren einzelnen Arbeitsschritten überschaubar zu machen.

### 2.1.2.3 Kegeldrehen

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, kegelige Werkstücke außer auf NC-Drehmaschinen auch auf herkömmliche Drehmaschinen herzustellen:

#### 1. Verstellen des Oberschlittens

Am einfachsten lassen sich Kegel drehen, wenn man den Oberschlitten um den halben Kegelwinkel verstellt (Bild 2.2). Infolge der groben Winkelteilung am Oberschlitten ist dieses Verfahren ziemlich ungenau. Außerdem muss der Vorschub dabei von Hand betätigt werden, sodass eine genaue Berechnung der Maschinengrundzeit nicht möglich ist.

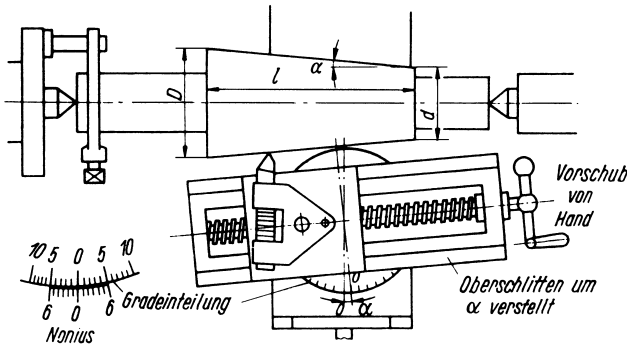


Bild 2.2  
Kegeldrehen durch Verstellen des Oberschlittens

2. Drehen mit Leitlineal

Mit dieser Methode lassen sich nur Kegel mit einem Kegelwinkel bis 20° herstellen, weil sonst die auf das Leitlineal wirkenden Kräfte zu groß werden. Die Berechnung der Maschinengrundzeit erfolgt nach Gl. (2.8) bzw. Gl. (2.9), da meist mit konstanter Drehzahl gearbeitet wird.

3. Drehen mit Reitstockverstellung

Schlanke Kegel (schlanker als 1 : 50) lassen sich herstellen, indem man den Reitstock um einen bestimmten Betrag *e* verschiebt (Bild 2.3). Je nachdem, ob mit konstanter Drehzahl oder mit konstanter Schnittgeschwindigkeit gearbeitet wird, ergeben sich unterschiedliche Gleichungen:

***n* = konst.**

$$t_h = \frac{L_K i}{f n} \quad \text{in min} \tag{2.15}$$

Dabei ist

$$L_K = \sqrt{L^2 + \frac{1}{4}(D - d)^2} \quad \text{in mm} \tag{2.16}$$

die zu bearbeitende Kegelmantellänge.

$$t_h = \frac{i}{f n} \sqrt{L^2 + \frac{1}{4}(D - d)^2} \quad \text{in min} \tag{2.17}$$

***v<sub>c</sub>* = konst.**

$$t_h = \frac{D_m \pi i}{f v_c \cdot 1000} L_K \quad \text{in min} \tag{2.18}$$

$$t_h = \frac{(D + d) \pi i}{f v_c \cdot 2000} \sqrt{L^2 + \frac{1}{4}(D - d)^2} \quad \text{in min} \tag{2.19}$$



# Sachwortverzeichnis

## A

- Abklingkurven der Verfestigung 121
- abrasiver Verschleiß 81
- Abwälzfräser 233
- adhäsiver Verschleiß 82
- Aktivkraft 39
- Alterungsschutzstoff 128
- Aluminium, partikelverstärktes 369
- angenommene Arbeitsebene 35
- Anlaufweg 347
- Anstellbewegung 21
- Anstellgeschwindigkeit 23
- Antriebsleistung 106
- Arbeitsebene 24
- , angenommene 35
- Arbeitseingriff 26
- der Schneide 27
- Arbeitshöchstumfangsgeschwindigkeit, Schleifkörper 341
- arbeitscharfe Schneide 99
- arithmetischer Mittenrauhwert 115
- Aufbauschneidenbildung 55
- Aufbohren, mit Spiralbohrer 200, 332
- Aufdampfen, chemisches 71
- , physikalisches 71
- Auflagefläche 32
- Aufnahmefähigkeit des Spanraums 210
- Außenrundlappen 286
- außermittiges Stirnfräsen 183
- Ausgangsfläche 25
- Axialkraft, beim Fräsen 314
- Axialvorschub 346

## B

- Bandsäge 339
- Bearbeitungsrandschicht 120
- Bearbeitungsrestspannung 120
- Berechnungsbeispiel 166, 170, 187, 202, 207, 215, 225, 230, 259
- Bewegungen zwischen Werkzeugschneide und Werkstück 20
- Bewegungsrichtung 21
- Bewertungsgrößen für das Standvermögen 45
- Bindung, Art 269
- , Porosität 269

- Biozid 128
- Bogenschneide 102
- Bohren 192, 354
- hoch legierter Stähle 364
- ins Volle 333
- mit Spiralbohrer 200, 330 f.
- mit SS-Spiralbohrer 333
- mit Vollhartmetallbohrsenkern 332
- von Titan und Titanlegierungen 368
- Bohrerdurchmesser für Gewindekerndurchmesser 332
- Bornitrid 76, 78
- Bornitridkörnungsgröße 344
- Brammertz'sche Spanzipfeltheorie 118
- Bröckelspan 54
- Bruchdehnung 55

## C

- Cermets 72
- , beschichtete 72
- chemisches Aufdampfen 71

## D

- Diamant 78
- , monokristalliner 75
- , polykristalliner 76
- Diamantkörnungsgröße 344
- Diamantschleifkörper 77
- Diffusionsverschleiß 81
- Drallrichtung, beim Fräsen 314
- Drangkraft 52 f., 100
- Drehen 153, 353
- auf Automaten 165
- hoch legierter Stähle 363
- mit Bornitrid 311
- mit Hartmetall, Richtwerte 301
- mit Schneidkeramik 310
- von Titan und Titanlegierungen 368
- Druckeigenspannung 122
- Druckkraft der Maschine 210

## E

- Eckenfase 34
- Eckenrundung 34
- Eigenschaften gebräuchlicher Schneidstoffe 62
- Einflussgröße 124 ff.

Eingriffsgröße 26  
 Einlippenbohrer 338  
 Einstechschleifen 222  
 Einstellwinkel, Umrechnungsfaktoren 295  
 Einstellwinkeleinfluss 93  
 Einwälzzähnezahl 348  
 Emulgator 128  
 Endenergie 110  
 Energie, kumulierte 112  
 Energieaufwand 109  
 – beim Spanen 109  
 –, kumulierter 112  
 –, spezifischer 109  
 –, spezifischer End- 111  
 –, spezifischer Primär- 111  
 Entschäumer 128  
 Entwicklungstendenzen 272, 290  
 externe technologische Optimierung 109

## F

Feinbearbeitungsbedingung 103  
 Feinbearbeitungsverfahren, mit geometrisch  
 unbestimmter Schneide 265  
 Feindrehen 118  
 – mit Diamantwerkzeugen 310  
 – mit Hartmetallwerkzeugen 310  
 Feinstkornhartmetall 72  
 Fertigungskosten 150  
 Fertigungsverfahren, Ordnungssystem 17  
 Festigkeit 211  
 Fettschmierstoff 128  
 Flachlappen, einseitiges 284  
 Flachscheifen 223  
 – mit dem Schleifkörperumfang 223  
 – mit der Schleifkörperstirnfläche 224  
 Fließspan 55  
 Formabweichung 114  
 Formfräser 232, 251, 317  
 Fräsdornbelastung, zulässige 326  
 Fräsen 172, 317, 355  
 –, Axialkraft 314  
 –, Drallrichtung 314  
 – hoch legierter Stähle 365  
 – mit Formfräser 232, 251  
 – mit hartmetallbestückten Fräsköpfen, gelötete  
 Ausführung 322  
 – mit Schneidkeramik 310  
 –, Schneidrichtung 314  
 – von Titan und Titanlegierungen 368  
 Fräser, aus Schnellarbeitsstahl 314 f.  
 – aus Schnellarbeitsstahl (SS) und Hartmetall-  
 schneiden (HM), Richtwerte 325

Fräserdurchmesser 347  
 Fräskopffräsen 322  
 freier Schnitt 48, 52  
 Freifläche 33  
 Freiflächen-Orthogonalebene 35  
 Freiflächenverschleiß 46, 82

## G

Gebrauchsenergie 110  
 gefertigte Fläche 25  
 Gefügestruktur, veränderte 120  
 Geometrie, am Schneidteil 31  
 – der Hartmetallschneide 70  
 – der Oberfläche 114  
 – des Spannungsvorgangs 19  
 geometrisch bestimmte Schneide 102  
 geschichtliche Entwicklung der Schneidstoffe 63  
 Geschwindigkeitsverhältnis 341  
 Geschwindigkeitsverhältnisse 51  
 Gesetz der Volumenkonstanz 51  
 Gestaltabweichung 115  
 Gewindebohren, Schnittkraftberechnung 196  
 Gewindebohrer 334  
 Gewindedrehen 156  
 Gewindefräsen 185  
 Gewindegewindeschlagfräsen 186  
 –, Außengewinde mit Hartmetall 327  
 –, Innengewinde mit Hartmetall 328  
 Gewindegewindeschneiden 311  
 – hoch legierter Stähle 365  
 Gleitlinientheorie von MOHR 49  
 Grundgleichung nach KIENZLE 96

## H

harter Schneidstoff 379 f.  
 Härtetemperatur 65  
 Hartlegierung, gegossene 67  
 Hartmetall 68  
 –, beschichtetes 71  
 –, Einsatzgebiete 381  
 –, hochtitancarbidhaltiges 70  
 –, titancarbidfreies 68  
 –, titancarbidhaltiges 68  
 –, wolframcarbidfreies 69  
 –, Zusammensetzung und Eigenschaften 69  
 hartmetallbestückte Reibahle 335 f.  
 Hartmetall-drehmeißel, Temperaturverteilung 80  
 Hartmetallschneide, Geometrie 70  
 Hartmetall-Wendepplattenbohrer 333  
 Hartmetallwerkzeug 139, 344  
 Hartschaben 243  
 Hartschalen 243  
 Hartstoffanteil 64, 94

Hartstoffbeschichtung 140  
Hauptschneide 34  
Hauptzeit, Berechnung 155, 169, 181, 200, 207, 214, 221  
–, Berechnung, Verfahrensüberblick 232  
High-speed-cutting (HSC) 144  
Hobeln 168  
– hoch legierter Stähle 364  
– mit Hartmetall 312  
– mit Schnellarbeitsstahl 312  
Hochgeschwindigkeitsbearbeitung 144  
– beim Fräsen 146  
Hochleistungs-Sägeblatt 339  
hochtitancarbidhaltiges Hartmetall 70  
hohe Schnittgeschwindigkeit, Spanbildungsprozess 146  
Honen 266  
–, Genauigkeit 267  
–, Verfahrenseinführung 266  
HSC 144  
–, praktische Realisierung 145  
HSS-Werkzeug 139

**I**

Innendrehen, Korrekturwerte 299  
Innenfeindrehen 105  
Innenlappen 286

**K**

Kammrissbildung 82  
Kantenversetzung an der Spanfläche 46  
Kegeldrehen 157  
Kegelradbearbeitung 252  
Kegelradfertigung 263  
– mittels Messerköpfen 258  
Keramikwerkzeug 139  
Kinematik des Spannungsvorgangs 19  
Koeffizienten der Standzeitbeziehung für Fräskopffräsen 322  
Kolkbreite 47  
Kolkklippenbreite 47  
Kolktiefe 47  
Kolkverhältnis 47  
Kolkverschleiß 47, 82 f.  
Komponenten der Zerspankraft 40  
Korrekturfaktor 98  
– für den Spanwinkel (kurz spanende Werkstoffe) 291  
– für den Spanwinkel (lang spanende Werkstoffe) 291  
– für die Schnittgeschwindigkeit 291  
Korrosionsschutzzusatz 128  
Kraft beim Spanen 39

Kräfteverhältnisse 52  
– beim Spanen im freien Schnitt 53  
Kühlmitteleinfluss 95  
Kühlschmierstoff 127, 343  
–, Auswahl 131  
–, Auswirkungen 130  
– für das Spanen 129  
Kühlschmierstoffmenge, Richtwerte 132  
Kühlschmierung 98  
kumulierte Energie 112  
kumulierter Energieaufwand 112  
Kunststoff, Sägen 357  
–, Schleifen 357  
–, spanende Bearbeitung 352–355  
–, thermoplastischer 358  
Kurzgewindefräsen 185, 327  
Kurzprüfverfahren 124 ff.

**L**

Lageabweichung 114  
Lamellenspan 54 f.  
Langdrehen 155  
Langgewindefräsen 185, 327  
Langnachformdrehen 162  
Längsschleifen 221  
Läppen 279  
–, Genauigkeit 283  
– mit formübertragendem Gegenstück 284  
– ohne formübertragendes Gegenstück 288  
–, Verfahren und Werkzeugmaschinen 284  
–, Verfahrenseinführung 279  
Leistung, vom Motor aufgenommene 106  
Leistungsberechnung 192  
– bei der Zahnradbearbeitung 227  
– beim Drehen 153  
– beim Fräsen 172  
– beim Hobeln und Stoßen 168  
– beim Räumen 208  
– beim Reiben 196  
– beim Sägen 203  
– beim Schleifen 218  
Leistungsermittlung, verkürztes grafisch-rechnerisches Verfahren 176

**M**

Makroriss 120  
Maschinenauslastung 107  
Maschinenauslastungsdiagramm 107 f.  
Maschinengerade 107  
Materialanteilkurve 116  
Materialausnutzung 110  
Materialeinsparung 110  
Mechanik der Spanbildung 48

Mehrspindeldrehautomat 308  
 Messmethode 124 ff.  
 Mikroriss 120  
 Minimalmengenschmierung (MMS) 135  
 Mischkeramik 73  
 Mittenrauhwert, arithmetischer 115  
 mittiges Stirnfräsen 183  
 monokristalliner Diamant 75

## N

Nachformdrehen 162  
 Nachformfräsen 326  
 – hoch legierter Stähle 365  
 Nachstellbewegung 21  
 Nachstellgeschwindigkeit 23  
 Nassbearbeitung 133 f.  
 –, Perspektiven 144  
 Nebenschneide 34  
 Nichtoxidkeramik 73  
 nominelle mittlere Spannungsdicke 105  
 nominelle Schnitttiefe 105  
 Nutenfräsen 184  
 – auf Nutenfräsmaschinen 184  
 Nutenfräsmaschine 184  
 Nutenschnittfräsen 184  
 Nutentauchfräsen 185

## O

Oberfläche, Geometrie 114  
 Oberflächenbeschaffenheit 119 f.  
 Oberflächengestalt 114  
 Oberflächenqualität 114  
 Oberflächenrauheit 114  
 Oberflächenschicht, beim Spanen, schematischer  
 Aufbau 120  
 Oberflächenschnitt 115  
 Oberflächenverfestigung 96  
 Oberflächenverhalten 121  
 Oberflächenwelligkeit 114  
 Optimierung, externe technologische 109  
 –, technologische 90  
 Ordnungssystem der Fertigungsverfahren 17  
 Oxidationsverschleiß 81  
 Oxidkeramik 73

## P

Palloid-Spiralkegelräder 256  
 partikelverstärktes Aluminium 369  
 Passivkraft 39, 53, 100, 102  
 –, Berechnung 101  
 –, spezifische, Hauptwert 101 f.  
 physikalisches Aufdampfen 71  
 Plan- und Eckfräsköpfe, Richtwerte 323 f.

Plandrehen 159  
 –, Korrekturwerte 299  
 Plannachformdrehen 164  
 Planringdrehen 161  
 Plasma-CVD-Verfahren 71  
 plastische Verfestigung 120  
 plastische Verformung 120  
 plastizitätsmechanische Theorie der Spanbildung  
 48  
 polykristalliner Diamant 76  
 Porosität 269  
 Primärenergie 110  
 Primärenergieaufwand 110  
 Prinzip der Minimalmengenschmierung 135  
 Profilläppen 286

## R

Radialvorschub 245  
 Radius der Schneidkantenrundung 118  
 Randzone 119  
 Rauheit, erreichbare 117  
 Räumen 208  
 – hoch legierter Stähle 364  
 – mit Schnellarbeitsstahl 340  
 –, Schnittgeschwindigkeit 340  
 –, Werkzeugwinkel 340  
 –, Zahnvorschub 340  
 Räumwerkzeug, Berechnung der Teilung 209  
 –, Festigkeit 211  
 –, Zahnung 212  
 Rautiefe, theoretische 118  
 Reiben 192, 202, 356  
 – hoch legierter Stähle 364  
 –, Leistungsberechnung 196  
 –, Schnittkraftberechnung 196  
 Reibungskoeffizient 49  
 Reibungswinkel 49  
 Reibuntermass 335  
 Reißspan 54  
 Revolverdrehautomat 308  
 Revolverdrehmaschine 304–307  
 Rückstellgeschwindigkeit 23  
 Rundschleifen 221

## S

Sägen 203  
 – von Kunststoffen 357  
 Schaftfräser 317  
 – aus Vollhartmetall, Richtwerte 324  
 Scheibenfräser 232, 317  
 schematische Einteilung der Schneidstoffe 62  
 Scherebene 48  
 Schergeschwindigkeit 51 f.

- Scherspan 54
- Scherwinkel 48
- Scherwinkelbeziehung 49
- Scherzone 55
- Schleifen 218
  - mit Diamant und Bornitrid 342 f.
  - von Hartmetallwerkzeugen 344
  - von Kunststoffen 357
- Schleifkörper, Arbeitshöchstumfangsgeschwindigkeit 341
  - , keramisch gebundener 342
- Schleifmittel 77
  - , Zusammensetzung und Anwendung 78
- Schleifscheibe, Umfangsgeschwindigkeit 341
- SCHLESINGER-Kriterium 100
- Schlichtbarkeit 124–127
- Schlichtbearbeitung 59
- Schlichten 127
- Schmiermitteleinfluss 95
- Schmierölzusatz 128
- Schneckenbearbeitung 251
- Schneckenradbearbeitung 245
- Schneckentrieb 245
  - , Fertigung 261
- Schneidbarkeit 127
- Schneiddiamant 75
- Schneide 33
  - , arbeitsscharfe 99
  - , geometrisch bestimmte 102
- Schneidenecke 34
- Schneidenkantenrundung 34
- Schneiden-Normalebene 35
- Schneidfähigkeit des Werkzeuges 44
- Schneidhaltigkeit des Werkzeuges 44
- Schneidkantenrundung 118
  - , Radius 118
- Schneidkantenverschleiß 46, 82
- Schneidkeil 32
- Schneidkeramik 72
- Schneidrichtung, beim Fräsen 314
- Schneidstoff 377
  - , Anwendung 60
  - , Eigenschaften gebräuchlicher 62
  - , geschichtliche Entwicklung 63
  - , harter 379 f.
  - , schematische Einteilung 62
  - , superharter 75
  - , Zerspanungshauptgruppen und Anwendungsgruppen 379 f.
- Schneidstoffeinfluss 94
- Schneidstoffkorrektur 98
- Schneidteil 32
  - , Geometrie 31
- Schnellarbeitsstahl 64, 308, 377
  - , Analyse 377
  - , Anwendungsrichtlinien 378
  - , beschichtet 67
  - , Legierungs- und Leistungsgruppen 65
  - , Wärmebehandlung 377
  - , Wärmebehandlung und Anwendung 66
  - , Warmformgebung 377
  - , Warmhärte 67
- Schnellarbeitsstahlreibahle 335 f.
- , Werkzeugwinkel 335
- Schnitt, freier 48, 52
- Schnittarbeit 42
- Schnittbewegung 21
- Schnittbreite 26
  - der Schneide 27
- Schnittenergie 42
- Schnittfläche 25
  - , spezifische 339
- Schnittgeschwindigkeit 22, 51, 147, 150
  - beim Räumen 340
  - für die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung beim Fräsen 146
  - , hohe, Spanbildungsprozess 146
  - , Richtwerttabellen 295
  - , ultrahohe 145
- Schnittgeschwindigkeitseinfluss 94
- Schnittgeschwindigkeitskorrektur 98
- Schnittkraft 41, 53, 91, 102
  - , Berechnung 96, 102
  - , Einflussgrößen 91
  - , spezifische 91, 97, 105, 291, 352
  - , spezifische, Einfluss von Vorschub und Schnitttiefe 95
  - , spezifische, Einflussgrößen 91
  - , spezifische, Hauptwert 97, 101 f.
  - , spezifische, Streuung 294
- Schnittkraftberechnung 192
  - bei der Zahnradbearbeitung 227
  - beim Drehen 153
  - beim Fräsen 172
  - beim Gewindebohren 196
  - beim Hobeln und Stoßen 168
  - beim Räumen 208
  - beim Reiben 196
  - beim Sägen 203
  - beim Schleifen 218
- Schnittkraftgleichung 96
- Schnittleistung 43, 106
- Schnittnormalkraft 41

- Schnitttiefe 26, 95  
 – der Schneide 27  
 –, nominelle 105  
 –, Umrechnungsfaktoren 299  
 Schnitttiefeinfluss 93  
 Schnittvolumen 30  
 Schnittvorschub 26  
 Schnittweg 22  
 Schnittwertoptimierung 113  
 –, Regeln 114  
 Schnittzahl 346  
 Schrägschnitt 115  
 Schrägzahnstirnrad 349  
 Schraubwälzfräsen, von Palloid-Spiralkegelrädern 256  
 Schraubwälzschleifen 240  
 Schrubbbarkeit 124–127  
 Schrubbearbeitung 59  
 Schruppen 127  
 Schrubb-Wälzfräsen 347  
 Seitenspanwinkel, Spiralbohrer 329  
 Senken 192, 202, 356  
 –, Ableitung der Gleichungen 195  
 – mit Hartmetallwerkzeugen 335  
 – mit HSS-Werkzeugen 334  
 Senkrechtschnitt 115  
 Spanart 54  
 Spanbarkeit 123, 127  
 – des Werkstoffs 44  
 – des Werkstücks 44  
 – von Stahl 123  
 Spanbarkeitsprüfung 123  
 Spanbildung, Mechanik 48  
 –, Modellvorstellung 49  
 –, plastizitätsmechanische Theorie 48  
 Spanbildungsprozess, Auswirkungen 59  
 Spanbildungszone 49, 56  
 Spanbreitung 50  
 Spandickung 50  
 Spanen, von partikelverstärktem Aluminium 369  
 – von Titan und Titanlegierungen 366  
 spanende Bearbeitung, von hoch legierten Stählen 360  
 – von Kunststoffen 352–355  
 Spanfläche 33  
 –, Kantenversetzung 46  
 Spanflächen-Orthogonalebene 35  
 Spanflächenverschleiß 82  
 Spanform 57 f., 309  
 Spanformklasse 58 f.  
 Spangeschwindigkeit 51 f.  
 Spankürzung 50  
 Spanleitstufe 59  
 Spanquerschnittsstauchung 50  
 Spanraum, Aufnahmefähigkeit 210  
 Spanstauchung 50, 147  
 Spanungsbreite 29, 97  
 Spanungsdicke 29, 97  
 –, nominelle mittlere 105  
 Spanungsgröße 28  
 Spanungsquerschnitt 28, 97  
 Spannungsschicht 30  
 Spannungstemperatur 79  
 Spanungsverhältnis, Einfluss 93  
 Spanungsvolumen 31  
 Spannungsvorgang, Geometrie 19  
 –, Kinematik 19  
 Spanvolumen, spezifisches 106  
 Spanwinkeleinfluss 93  
 Spanwinkelkorrektur 98  
 Spanwurzel 48  
 Spanwurzelaufnahme 48  
 spezifische Passivkraft, Hauptwert 101 f.  
 spezifische Schnittfläche 339  
 spezifische Schnittkraft 91, 97, 105, 291  
 –, Einfluss von Vorschub und Schnitttiefe 95  
 –, Einflussgrößen 91  
 –, Hauptwert 97, 101 f.  
 –, spanende Bearbeitung von Kunststoffen 352  
 –, Streuung 294  
 spezifische Vorschubkraft, Hauptwert 101 f.  
 spezifischer Endenergieaufwand 111  
 spezifischer Energieaufwand 109  
 spezifischer Primärenergieaufwand 111  
 spezifisches Spanvolumen 106  
 Spiralbohrer 330 f.  
 –, Aufbohren 332  
 –, Seitenspanwinkel 329  
 –, Spitzenwinkel 329  
 Spitzenverschleiß 82  
 Spitzenwinkel, Spiralbohrer 329  
 Stahl, hoch legierter 363 ff.  
 –, hoch legierter, Einteilung 362  
 Standbedingung 44  
 Standbegriffe 44  
 Standgröße 45  
 Standkriterium 45  
 Standmenge 45  
 Standvermögen 44  
 –, Bewertungsgrößen 45  
 Standvolumen 45  
 Standweg 45  
 Standzeit 45, 84  
 –, Einflussgrößen 84

Standzeitbegriff, Definition 84  
Standzeitdiagramm 84 f.  
Standzeitgleichung 88  
Standzeitschnittgeschwindigkeit 107  
Stirnfräsen 182, 187  
–, außermittiges 183  
– mit Bornitrid 326  
–, mittiges 183  
– unter Feinbearbeitungsbedingungen 103  
Stirnrad, gerad- und schrägverzahnt 227  
–, geradverzahnt 229  
Stirnradbearbeitung 232  
Stirnradfertigung 259  
Stirnradwälzstoßen, System Maag 348  
Stoßen 168  
– mit Hartmetall 312  
– mit Schnellarbeitsstahl 312  
Stoßlappen 287  
Strahl-Läppen 288  
Streuung der spezifischen Schnittkraft 294  
Strukturänderung 119  
Strukturlinie 56  
Strukturwinkel 48  
Superfinish 272  
–, Genauigkeit 273  
–, Verfahrenseinführung 272  
superharter Schneidstoff 75

## T

Tangentialvorschub 246  
Tauchlappen 290  
technologische Optimierung 90  
Teilung 209  
Temperaturverteilung in einem Hartmetalldreh-  
meißel 80  
theoretische Rautiefe 118  
thermoplastischer Kunststoff 358  
Tieflochbohren 337  
Titan 366, 368  
titancarbidfreies Hartmetall 68  
titancarbidhaltiges Hartmetall 68  
Titanlegierung 366, 368  
Trockenbearbeitung 133, 136, 139  
–, Darstellung der Möglichkeiten 137  
–, Perspektiven 144

## U

Ultrafeinstkornhartmetall 72  
ultrahohe Schnittgeschwindigkeit 145  
Umfangsfräsen 181, 190  
–, Berechnungsform 176  
Umfangsgeschwindigkeit, Schleifscheibe 341

## V

Verfahrens faktor 100  
verfestigte Schicht, Tiefe 120  
Verfestigung, Abklingkurven 121  
–, Intensität 120  
–, plastische 120  
Verfestigungsgrad 120  
Verfestigungstiefe 120  
Verformung, plastische 120  
Verkürztes grafisch-rechnerisches Verfahren der  
Leistungsermittlung 176  
Verschleißursache 81  
Verschleiß, abrasiver 81  
–, adhäsiver 82  
–, Auswirkungen 83  
–, Diffusions- 81  
–, Oxidations- 81  
Verschleißart 82 f.  
–, Freiflächenverschleiß 82  
–, Kammrissbildung 82  
–, Kolkverschleiß 82 f.  
–, Schneidkantenverschleiß 82  
–, Spanflächenverschleiß 82  
–, Spitzenverschleiß 82  
Verschleißdiagramm 85  
Verschleißeinfluss 95  
Verschleißgrößen am Drehmeißel 47  
Verschleißkorrektur 98  
Verschleißkriterium 83  
Verzahnungsverfahren 264  
Vollbohrkopf 337  
Vollhartmetallbohrsenker 332  
Volumenkonstanz, Gesetz 51  
Vorbohrdurchmesser 332  
Vorschub 25, 95  
Vorschubarbeit 43  
Vorschubbewegung 21  
Vorschubeinfluss 92  
Vorschubeingriff 27  
– der Schneide 28  
Vorschubenergie 43  
Vorschubgeschwindigkeit 23  
Vorschubgröße 25  
Vorschubkraft 41, 53, 100, 102  
–, Berechnung 101  
–, spezifische, Hauptwert 101 f.  
Vorschubleistung 44, 106  
Vorschubnormalkraft 41  
Vorschubrichtungswinkel 23  
Vorschubweg 22

**W**

Walzenfräser 317  
 Walzenstirnfräser 317  
 Wälzfräsen 227, 230  
 – mit Abwälzfräser 233  
 – mit Radialvorschub 245  
 – mit Schlagmesser 248  
 – mit Tangentialvorschub 246  
 – von Stirnrädern 346 f.  
 Wälzhonen 244  
 Wälzschalen 250  
 Wälzstoßen 229, 234  
 – mit Kammmeißel, System Maag 236  
 – mit Schneidrad 234  
 – von Schrägzahnstirnrädern 349  
 Wärmebehandlung 377  
 Wärmeentstehungszone 79  
 Warmformgebung 377  
 Welligkeit 115  
 Wendeschneidplatte 59  
 Werkstück 20  
 Werkstoffeinfluss 92  
 Werkstoffgruppe 370  
 Werkstück und Fertigungsergebnis 267, 274  
 Werkstückgeschwindigkeit 341  
 Werkzeug und Fertigungsergebnis 268, 275  
 Werkzeugabmessungen 268  
 Werkzeugachse 32  
 Werkzeug-Bezugsebene 35  
 Werkzeug-Bezugssystem 34  
 Werkzeugbohrung 32  
 Werkzeug-Eckenwinkel 36  
 Werkzeug-Einstellergänzungswinkel 36  
 Werkzeug-Einstellwinkel 36  
 Werkzeug-Freiwinkel 36  
 Werkzeuggerade 107  
 Werkzeuggestaltung 268  
 Werkzeug-Keilwinkel 36  
 Werkzeugmaschine und Fertigungsergebnis 270, 276  
 Werkzeug-Neigungswinkel 36  
 Werkzeug-Orthogonalebene 35  
 Werkzeug-Rückebene 35  
 Werkzeugschaft 32  
 Werkzeugschneide 20  
 Werkzeug-Schneidenebene 35  
 Werkzeug-Spanwinkel 36  
 Werkzeugstahl, legiert 64  
 –, unlegiert 64  
 Werkzeugstandzeit, Beeinflussung 86 f.  
 Werkzeugtyp 313, 329

Werkzeugverschleiß 46  
 Werkzeugwinkel 34, 315  
 – am Drehmeißel 36  
 – beim Räumen 340  
 –, Drehen mit Hartmetall 300  
 –, Drehen mit Schnellarbeitsstahl 301  
 –, hartmetallbestückte Fräser 316  
 –, Schnellarbeitsstahlreibahle 335  
 Wirkarbeit 42  
 Wirkbewegung 21  
 Wirk-Bezugssystem 37  
 Wirkenergie 42  
 Wirkgeschwindigkeit 22  
 Wirkkraft 41  
 Wirkleistung 43  
 Wirknormalkraft 41  
 Wirkrichtungswinkel 24  
 Wirkspanungsbreite 29  
 Wirkspanungsdicke 29  
 Wirk-Spanungsgröße 29  
 Wirkspanungsquerschnitt 29  
 Wirkungsgrad 106  
 Wirkvorschub 26  
 Wirkweg 22  
 Wirkwinkel 37  
 – am Drehmeißel 38  
 Wirtschaftlichkeit 272, 278  
 wolframcarbidgefreies Hartmetall 69

**Z**

Zähnezahl 314 ff.  
 Zahnflankenschleifen 229, 231, 239  
 –, System Niles 239, 349  
 Zahnradbearbeitung 227  
 Zahnradchaben 242, 349  
 Zahnung 212  
 Zahnvorschub 25  
 – beim Räumen 340  
 Zeitspanvolumen 106  
 Zerspanbarkeit, der Stahlwerkstoffe 361  
 Zerspankraft 39 f., 90  
 –, Komponenten 40  
 Zugeigenspannung 122  
 Zugkraft der Maschine 210  
 zulässige Fräsdornbelastung 326  
 Zustellbewegung 21  
 Zustellgeschwindigkeit 23  
 Zweimeißelwälzhobeln, System Heidenreich und Harbeck 252  
 – von Kegelrädern 350