

HANSER



Leseprobe

zu

„Spanende Formung“

von Werner Degner, Hans Lutze, Erhard Smejkal et al.

Print-ISBN: 978-3-446-45032-5
E-Book-ISBN: 978-3-446-46063-8

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-45032-5>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Vorwort

Das vorliegende Buch der „Spanenden Formung“, welches in über 50 Jahren unter der Herausgeberschaft von Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Degner, Prof. Dr.-Ing. habil. Hans Lutze und Dr.-Ing. Erhard Smejkal als ein wichtiges Standardwerk der deutschsprachigen fertigungstechnischen Fachliteratur bekannt geworden ist, erscheint nun in der 18. Auflage mit zusätzlichen Herausgebern und Autoren.

Die Herausgeber der vorangegangenen Auflagen waren angesichts der bisher verbreiteten Exemplare nach ihren eigenen Worten der Auffassung, dass „die gewählte Dreiteilung des Kompendiums in Theorie – Berechnung – Richtwerte bei den Lesern sehr gut angenommen wurde und sich ausgezeichnet bewährt hat. Die kurzgefasste Theorie legt dabei keinen Wert auf eine neue Zerspanungslehre, 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.“

Auch diese Auflage hat vor allem textlich eine gründliche Überarbeitung erfahren. Die Reihenfolge der behandelten Fertigungsverfahren des Berechnungsteils und in den Schnittwerttabellen wurde jedoch entsprechend der in der modernen Lehre heute üblicherweise verbreiteten DIN 8589 umgestellt und aktualisiert. Zusätzlich ist das Thema Simulation aufgegriffen und sowohl in der Theorie, als auch in der Berechnung von Dr.-Ing. Rocco Eisseler als Autor behandelt worden. Auch wurde der Abschnitt über die Schneidstoffe im Kapitel Theorie von Dr.-Ing. Immo Garrn mit Blick auf die industrielle Praxis komplett neu verfasst und auf einen zeitgemäßen Stand gebracht.

Das Buch „Spanende Formung“ stellt somit – auch in Zeiten, in denen längst eine Reihe von Berechnungsprogrammen am Markt verfügbar sind – ein für die fertigungstechnische Fachwelt wertvolles Lehr-, Arbeits- und Nachschlagewerk dar, das zum Grundverständnis der zerspanungstechnischen Zusammenhänge anschaulich beitragen und mit den sonst nicht in dieser kompakten Form verfügbaren Richtwerttabellen praxisbezogene Anhaltspunkte geben will.

Die Herausgeber und Autoren danken insbesondere dem Carl Hanser Verlag, dass er auch diese Auflage des Buches in hervorragender Qualität herausgebracht hat. Besonders in den Dank

einschließen möchten wir unsere Lektorin, Frau Natalia Silakova, und die Lektoratsassistentin, Frau Christina Kubiak, die uns bestens unterstützt haben.

Chemnitz und Stuttgart, April 2019

*Uwe Heisel
Hans Lutze
Erhard Smejkal
Johannes Rothmund*

Geleitwort zur 18. Auflage

Die Basis für den Erfolg in der Fertigung tätiger Personen ist mehr denn je eine fundierte Ausbildung mit einem Mix aus theoretischen und praktischen Anteilen. Nur so können sie den tagtäglichen Anforderungen der technischen Praxis gerecht werden und zugleich technische Weiterentwicklungen bewerten oder selbst Neuentwicklungen anstoßen. Die Nutzung der heute verfügbaren digitalen Technologien bis hin zu auf künstlicher Intelligenz beruhender Prozessoptimierung werden dies nur in sehr beschränktem Umfang leisten können. Daher bleibt die systematische Vermittlung von auf Mechanismen aufbauendem fertigungstechnischem Grundwissen von essenzieller Bedeutung für den Erfolg der Wirtschaft.

Dieses Buch vermittelt dieses Wissen in vorbildlicher Weise, indem es neben der systematischen, an den relevanten Normen orientierten Vermittlung von Grundwissen auch die praktische Anwendung einbezieht. Damit können sich Studierende die Verfahren und Wirkzusammenhänge basierend auf etablierten Theorien und Modellen erarbeiten und finden Ansätze zur Auslegung von Prozessen. Tabellen mit Richtwerten aus der Praxis erlauben es in der Praxis stehenden Ingenieuren, Technikern und Meistern Lösungen für die Arbeiten in der Arbeitsvorbereitung zu finden und sich fundiert und praxisorientiert in neue Verfahren hineinzufinden. Diese Verbindung von Theorie und Praxis ist auch ein wesentliches Anliegen des Vereins Zukunftsorientierte Zerspanung e. V., den die Stuttgarter und Karlsruher Fertigungstechniker gemeinsam mit interessierten Firmenpartnern seit einigen Jahren mitgestalten.

Ergänzend finden sich in dem Buch Hinweise zur Verknüpfung rein technologischer Ansätze mit solchen aus der Betriebswirtschaft, was eine wichtige Bereicherung darstellt und für alle vorgesehenen Lesergruppen von wachsender Bedeutung ist.

Ich wünsche dem Buch erneut eine weite Verbreitung und den Lesern eine bereichernde Lektüre und eine nutzbringende Bereicherung ihres Wissens.

Karlsruhe, im Februar 2019

Prof. Dr.-Ing. habil. *Volker Schulze*
wbk Institut für Produktionstechnik
Karlsruher Institut für Technologie

Geleitwort zur 18. Auflage

Die Produktionstechnik ist von den Technologien der Metallzerspanung stark geprägt. Zerspanungsprozesse sind zumeist maßgeblich für die Produktivität der Bauteilherstellung sowie für die Qualität und Integrität der erzeugten Komponenten. Sie sind daher auch ausschlaggebend für die Gestaltung und Auslegung der Maschinen- und Anlagentechnik für die industrielle Produktion. Die Kenntnis der Zerspanprozesse, deren wissenschaftliche Grundlagen und praktische Umsetzung sind daher von zentraler Bedeutung für eine wirtschaftliche Fertigung, die modernen Bedarfen gerecht wird. Gestiegene Anforderungen an die Genauigkeit, Oberflächengüte und Randzonenintegrität sowie die stete Forderung nach höherer Produktionsleistung, Prozesssicherheit und Kosteneffizienz charakterisieren diese Bedarfssituation. Gleichzeitig tritt außerdem die Notwendigkeit einer deutlich erhöhten Material-, Energie- und Ressourceneinsparung verstärkt in den Fokus der Betrachtungen. Den technologischen, wirtschaftlichen und ökologischen Herausforderungen kann zukünftig nur mit einer fundierten Fachkompetenz erfolgreich begegnet werden.

Die „Spanende Formung“ nimmt als Lehr- und Nachschlagewerk seit vielen Jahrzehnten eine führende Stellung für Ausbildung, Studium und Praxis ein. Dieses Buch behandelt sowohl die theoretischen Grundlagen des Zerspanungsprozesses, der Schneidstoffe und der Berechnung von Kräften und Leistungen, als auch die Simulationsmodelle, die heute verstärkt in die Anwendung rücken. Beispiele für die konkrete Berechnung der wesentlichen Zerspanungsprozesse runden den theoretischen Teil ab. Einen besonderen Wert stellt die Sammlung von Richtwerten dar, die für die Praktiker eine wesentliche Hilfestellung bei der Bestimmung von Prozessparametern sind.

Diesem Buch kann man daher nur wünschen, dass es so viel Anerkennung und Beachtung findet, wie in der Vergangenheit und auch darüber hinaus.

Stuttgart, Mai 2019

Prof. Dr.-Ing. *Hans-Christian Möhring*
Institut für Werkzeugmaschinen
Universität Stuttgart

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 Spanungsvorgangs	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 Stoessen	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	Zahnradbearbeitung	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	Stirnradbearbeitung	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	Zahnradbearbeitung (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) Werkstoffbezeichnung	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

1 Theorie der spanenden Formung

1.1 Begriffe der spanenden Formung

1.1.0 Grundlagen

Grundanliegen dieses ersten Abschnittes ist es, Klarheit in den Begriffen der spanenden Formung zu schaffen.

KIENZLE mit seinen grundlegenden Arbeiten [3] und [4] gebührt das besondere Verdienst, dass er zunächst ein Ordnungssystem der Fertigungsverfahren geschaffen hat, aus der DIN 8580 im Wesentlichen entstand. Aus den sechs Hauptgruppen der Fertigungsverfahren (Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten, Stoffeigenschaftsändern) wurde die dritte Hauptgruppe Trennen weiter unterteilt in die Gruppen Zerteilen, Spanen mit geometrisch bestimmten und unbestimmten Schneiden sowie Abtragen (Bild 1.1).

Ein weiterentwickeltes Ordnungssystem, ebenfalls in der umfangreichen DIN 8589 festgelegt, unterteilt dann weiter in die einzelnen Verfahren mit geometrisch bestimmter Schneide (Drehen, Bohren/Senken/Reiben, Fräsen, Hobeln/Stoßen, Räumen, Sägen, Feilen/Raspeln, Bürstspanen, Schaben/Meißeln) und mit geometrisch unbestimmter Schneide (Schleifen, Bandschleifen, Hubschleifen, Honen, Läppen, Strahlspanen, Gleitspanen). Generell versteht man nach DIN 8589 unter Spanen einen Trennvorgang, bei dem ein Werkstück mithilfe der Schneiden eines Werkzeugs (mit geometrisch bestimmten oder geometrisch unbestimmten Schneiden) Werkstoffschichten in Form von Spänen zu einer Änderung der Werkstückform (meist vorgefertigt durch Ur- oder Umformen) und/oder der Werkstückoberfläche mechanisch abgetrennt werden.

Aufgrund der sehr weiten Verbreitung und Anwendung des Spanens und damit insgesamt der spanenden Verfahren bestand für Forschung, Praxis und Lehre aber auch die Notwendigkeit einer korrekten und konkreten Definition der Begriffe, speziell für die Kinematik und Geometrie des Spanungsvorgangs, die Geometrie des Schneidkeiles und weiterer physikalischer und technologischer Spannungsbegriffe.

Ältere Arbeiten beschränken sich dabei meist auf Definitionen und die Nomenklatur der Winkel, primär beim einschneidigen Werkzeug. Es wurden aber auch Versuche gemacht, diese Begriffsbestimmungen auf alle spanenden Verfahren zu übertragen [5]. Die Begriffe sind heute im Wesentlichen in den DIN 8580, 8581, 8582, 8583 und 8584 festgelegt. Der Vorteil dieser DIN ist, dass sie im hohen Maße auch auf die internationale Norm ISO 3002/1 bis 3002/5 abgestimmt sind.

Auf diese DIN wird nachfolgend näher eingegangen, da sie die Grundlagen für alle spanenden Verfahren bilden.

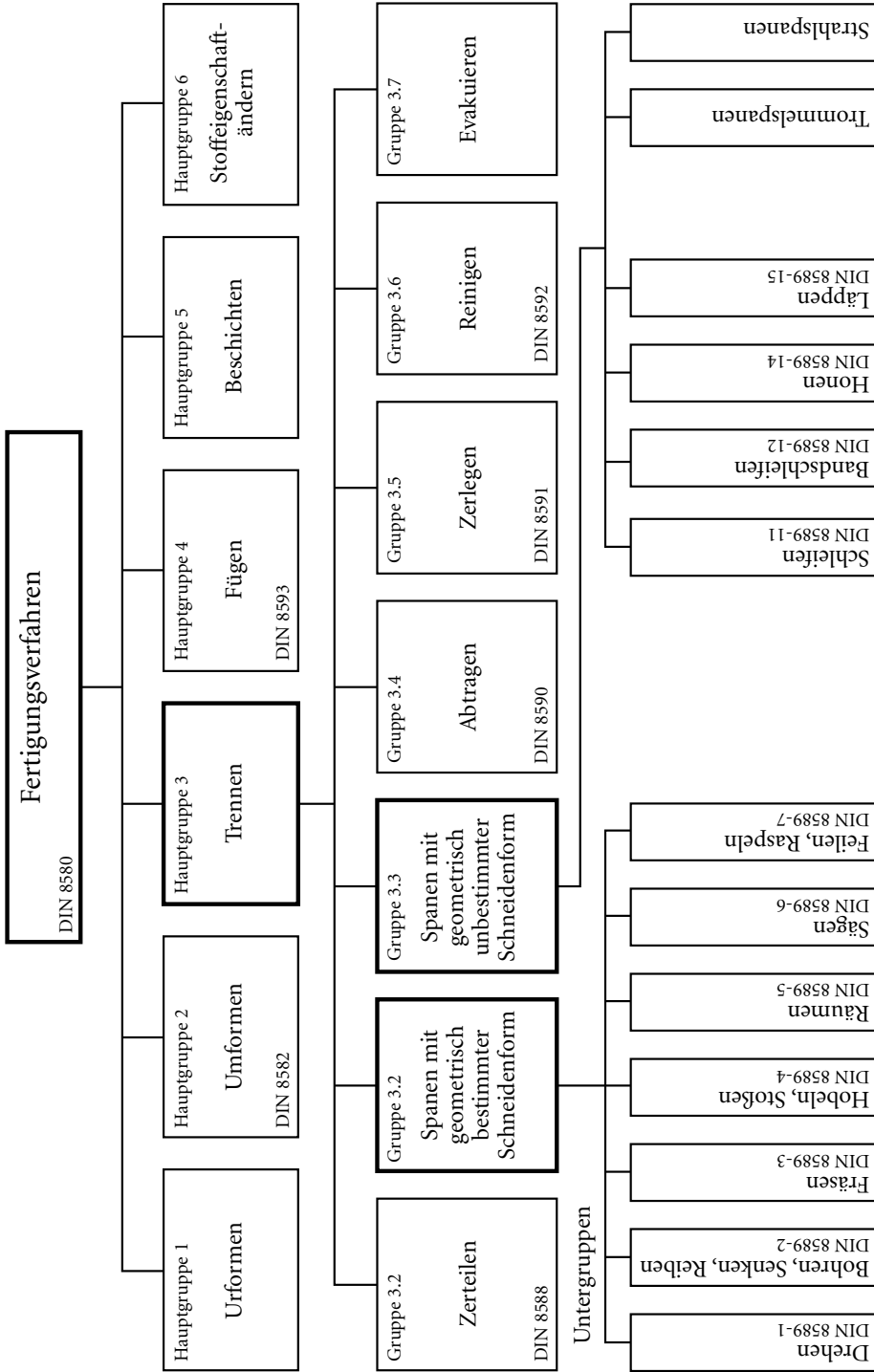


Bild 1.1 Einteilung der Fertigungsverfahren nach DIN 8580 und Zuordnung spanender Verfahren

Die Begriffe des Spanens müssen folgenden Forderungen Rechnung tragen:

1. Sie müssen auf sämtliche spanende Bearbeitungsverfahren anwendbar und übertragbar sein.
2. Sie müssen in einem logischen geometrischen Zusammenhang stehen.
3. Eingeführte und bestehende Begriffe sollten soweit wie möglich berücksichtigt werden.

Die gleichzeitige Gültigkeit der Begriffe für alle spanenden Verfahren schafft die Möglichkeit, die für die Praxis notwendigen Begriffe auf ein Minimum zu beschränken.

Die Systematik und die Begriffe beruhen darauf, dass von dem allgemeinen Fall des Spannungsvorgangs, bei dem die Vorschubrichtung nicht senkrecht zur Schnittrichtung steht, ausgegangen wurde. Das häufig als Lehrbeispiel dargestellte Drehen stellt dann nur einen Sonderfall dar. Die Betrachtungen dieses allgemeinen Falls führen zur Einführung des entscheidenden Begriffs des Vorschubrichtungswinkels φ . Erst durch ihn ergibt sich der geometrische Zusammenhang zwischen den verschiedenen spanenden Verfahren.

Weiterhin werden die Wirkbewegungen als Resultierende aus Schnittbewegung und Vorschubbewegung in die Betrachtung einbezogen und hieraus die Wirkbegriffe abgeleitet. Wenn auch der Unterschied zwischen Wirkrichtung und Schnittrichtung meist vernachlässigbar klein ist, werden doch durch den Wirkrichtungswinkel η , der den Unterschied zwischen Wirkrichtung und Schnittrichtung angibt, wesentliche geometrische Zusammenhänge deutlich. Da diese Kinematik des Spannungsvorgangs die wesentliche Grundlage für die neue Betrachtungsweise bildet, ergibt sich als entscheidende Bezugsebene für die Spanungsgeometrie diejenige Ebene, die alle Bewegungen enthält. Sie wird Arbeitsebene genannt. Mit den Begriffen Vorschubrichtungswinkel, Wirkrichtungswinkel und Arbeitsebene lassen sich die Grundbegriffe allgemein gültig für alle spanenden Verfahren aufbauen.

1.1.1 Kinematik und Geometrie des Spannungsvorgangs

Die für jeden spanenden Vorgang wichtigen Bewegungen sowie die Geometrie des Spannungsvorgangs sind in DIN 6580 festgelegt. Sie stimmen inhaltlich mit ISO 3002-1 und 3002-3 überein.

Die folgenden Teilabschnitte 1.1.1.1 bis 1.1.1.5 behandeln die Spanungs kinematik als Grundlage der Festlegungen. Die hieraus abgeleiteten notwendigen Hilfsbegriffe sind in 1.1.1.6 erläutert. Teilabschnitt 1.1.1.7 definiert die Flächen am Werkstück, während in 1.1.1.8 bis 1.1.1.10 die Vorschubgrößen, Eingriffsgrößen und Spanungsgrößen definiert und erläutert sind.

Besonders die Begriffsfestlegung der Schnitttiefe bzw. Schnittbreite a_p im Teilabschnitt 1.1.1.9 ist zu beachten, um Verwechslungen mit dem Arbeitseingriff a_e , zu vermeiden. Die Größe a_p ist immer diejenige, die, mit dem Vorschub f multipliziert, den Spanungsquerschnitt A ergibt. Da der Vorschub in der Arbeitsebene bzw. parallel dazu gemessen wird, muss die Größe a_p senkrecht dazu gemessen werden. Sie erscheint als Schnitttiefe oder als Schnittbreite und führt deshalb wahlweise die eine oder andere Benennung, aber immer das gleiche Zeichen a_p . Beim Fräsen und Schleifen ist zusätzlich der Arbeitseingriff a_e , von Interesse. Er steht senkrecht zur Größe a_p und zur Vorschubrichtung und ist nicht zu verwechseln mit der Schnitttiefe a_p .

Die im Abschnitt 1.1.1.10 erläuterten Spanungsgrößen sind nicht identisch mit den Abmessungen der abgehobenen Späne (siehe Unterabschnitt 1.2.1.1). In den Begriffen der spanenden Formung werden die „Einstellgrößen“, d. h. die Größen, die für den Arbeitsgang unmittelbar an der Maschine einzustellen sind, nicht besonders behandelt.

Selbstverständlich können je nach Kinematik der Werkzeugmaschine z. B. auch Geschwindigkeiten, Vorschubgrößen oder Eingriffsgrößen „Einstellgrößen“ sein.

Die definierten Begriffe beziehen sich immer auf den jeweils betrachteten Schneidenpunkt.

1.1.1.1 Bewegungen zwischen Werkzeugschneide und Werkstück

Die Bewegungen bei einem Spanungsvorgang sind Relativbewegungen zwischen Werkzeugschneide und Werkstück. Sie werden auf das ruhend gedachte Werkstück bezogen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen solchen Bewegungen, die unmittelbar das Entstehen von Spänen bewirken (Wirkbewegung, Schnittbewegung und Vorschubbewegung), und solchen, die nicht unmittelbar am Entstehen von Spänen beteiligt sind (Zustellbewegung, Nachstellbewegung, Ausstellbewegung und Rückstellbewegung).

Die Bewegungen können gerade, kreisförmig oder beliebig sein. Es sind Bewegungen an der Wirkstelle, die durch die Werkzeugmaschine erzeugt werden.

Unmittelbar entstehen Späne durch die Wirkbewegung, die sich meist aus einer Schnittbewegung und einer Vorschubbewegung zusammensetzt, nach einer vorangegangenen Zustellbewegung.

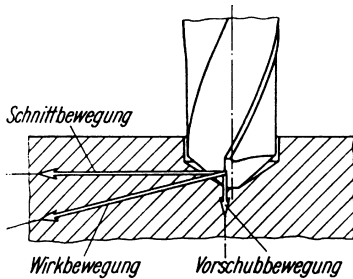


Bild 1.2 Schnitt-, Vorschub- und Wirkbewegung beim Bohren (nach DIN 6580)

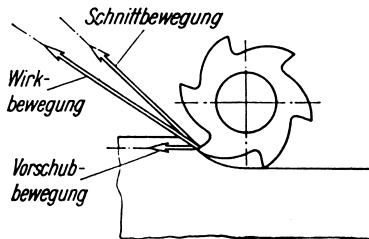


Bild 1.3 Schnitt-, Vorschub- und Wirkbewegung beim Fräsen (nach DIN 6580)

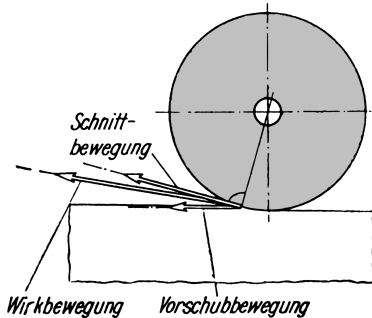


Bild 1.4 Schnitt-, Vorschub- und Wirkbewegung beim Schleifen (nach DIN 6580)

Wirkbewegung

Die Wirkbewegung ist die Bewegung zwischen Werkzeugschneide und Werkstück, die den Zerspanvorgang bewirkt. Sie ist in der Regel eine aus Schnitt- und Vorschubbewegung resultierende Bewegung. Erfolgt keine gleichzeitige Vorschubbewegung, so ist die Wirkbewegung identisch mit der Schnittbewegung (Bilder 1.1 bis 1.3).

Schnittbewegung

Die Schnittbewegung ist diejenige Bewegung zwischen Werkzeugschneide und Werkstück, die ohne Vorschubbewegung nur eine einmalige Spanabnahme während einer Umdrehung oder eines Hubs bewirken würde. Die Schnittbewegung kann sich aus mehreren Komponenten zusammensetzen.

Vorschubbewegung

Die Vorschubbewegung ist diejenige Bewegung zwischen Werkstück und Werkzeug, die zusammen mit der Schnittbewegung eine mehrmalige oder stetige Spanabnahme während mehrerer Umdrehungen oder Hübe ermöglicht. Sie kann schrittweise oder stetig vor sich gehen. Die Vorschubbewegung kann sich aus mehreren Komponenten zusammensetzen (Bild 1.5).

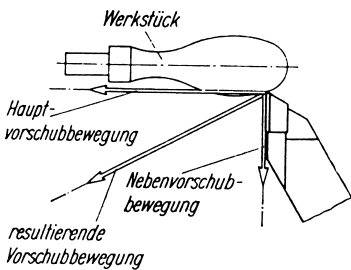


Bild 1.5 Beispiel für eine zusammengesetzte Vorschubbewegung (nach DIN 6580)

Die nicht unmittelbar an der Spanentstehung beteiligten Bewegungen sind trotzdem bedeutungsvoll, weil sie zur Bearbeitung des Werkstücks zwingend notwendig sind. Die Zustellbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück bestimmt im Voraus die Dicke der jeweils abzuhebenden Schicht (Schnitttiefe a_p).

Anmerkungen: Bei einigen Fertigungsverfahren – z. B. Einstechdrehen, Bohren, Räumen – gibt es verfahrensbedingt keine Zustellbewegung. Ferner ist auch die Nachstellbewegung als Korrekturbewegung bedeutsam, z. B. um den Werkzeugverschleiß mit Blick auf die geforderte Maßgenauigkeit des Werkstücks auszugleichen.

Die Anstellbewegung ist erforderlich, um das Werkzeug vor dem Spanen an das Werkstück heranzuführen, während die Rückstellbewegung das Werkzeug in die Ausgangslage zurückführt.

1.1.1.2 Richtungen der Bewegungen (Bewegungsrichtungen)

Unter den Bewegungsrichtungen versteht man die momentane Richtung der Wirkbewegung (Wirkrichtung), der Schnittbewegung (Schnittrichtung) und der Vorschubbewegung (Vorschubrichtung) im ausgewählten Schneidenpunkt.

Entsprechend kann unterschieden werden zwischen Zustell-, Nachstell-, Anstell- und Rückstellrichtung.

1.1.1.3 Wege des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück

Den einzelnen Bewegungen lassen sich die entsprechenden Wege zuordnen. So sind im Bild 1.6 am Beispiel des Walzfräsens der Wirkweg l_e , der Schnittweg l_c und der Vorschubweg l_f dargestellt.

Zum Beispiel ist der Vorschubweg l_f derjenige Weg, den der betrachtete Schneidenpunkt durch die Vorschubbewegung spanend zurücklegt. Der auf die Umdrehung oder den Hub bezogene Vorschubweg wird als „Vorschub“ bezeichnet und bedeutet folglich immer Vorschub pro Umdrehung bzw. pro Hub (siehe Abschnitt 1.1.1.8). Zustellweg l_z , Nachstellweg l_n , Anstellweg l_a und Rückstellweg l_r sind die jeweils den o. g. Bewegungen zugeordneten Wege.

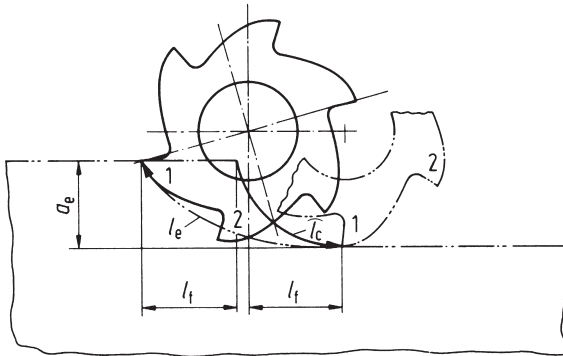


Bild 1.6 Schnittweg l_c , Vorschubweg l_f und Wirkweg l_e beim Gegenlaufräsen (nach DIN 6580)
Die Zahlen 1 und 2 zeigen die Bewegung der Fräserzähne.

1.1.1.4 Geschwindigkeiten

Wirkgeschwindigkeit v_e

Die Wirkgeschwindigkeit v_e ist die momentane Geschwindigkeit der Wirkbewegung im betrachteten (ausgewählten) Schneidenpunkt (Bilder 1.2 bis 1.4 und 1.7 bis 1.9).

$$v_e = \frac{v_c \sin \varphi}{\sin(\varphi - \eta)} = \frac{v_f + v_c \cos \varphi}{\cos(\varphi - \eta)} \quad (1.1)$$

In vielen Fällen ist das Verhältnis v_f/v_c so klein, dass die Näherung gilt

$$v_e \approx v_c \quad (1.2)$$

Schnittgeschwindigkeit v_c

Die Schnittgeschwindigkeit v_c ist die momentane Geschwindigkeit der Schnittbewegung im betrachteten Schneidenpunkt (Bilder 1.2 bis 1.4 und 1.7 bis 1.9). Sie ist z. B. bedeutungsvoll für das Standvermögen und die Standzeitberechnung der Werkzeuge sowie für die Leistungsberechnung der Werkzeugmaschine.

Vorschubgeschwindigkeit v_f

Die Vorschubgeschwindigkeit v_f ist die momentane Geschwindigkeit der Vorschubbewegung im betrachteten Schneidenpunkt (Bilder 1.2 bis 1.4 und 1.7 bis 1.9). Sie ist besonders für das Fräsen von Bedeutung und dient zur Leistungsberechnung von Vorschubantrieben.

Zustellgeschwindigkeit v_z , Nachstellgeschwindigkeit v_n , Anstellgeschwindigkeit v_a und Rückstellgeschwindigkeit v_r sind jeweils die momentanen Geschwindigkeiten im betrachteten Schneidenpunkt.

1.1.1.5 Komponenten der Bewegungen, Richtungen, Wege und Geschwindigkeiten

Die in den vorstehenden Abschnitten definierten Bewegungen Richtungen (1.1.1.2), Wege (1.1.1.3) und Geschwindigkeiten (1.1.1.4) können auch aus verschiedenen Komponenten erzeugt werden.

1. Komponenten, bezogen auf das rotierende Werkzeug bzw. Werkstück
2. Komponenten, bezogen auf lineare Bewegungen von Werkzeug bzw. Werkstück
3. Komponenten, bezogen auf die Werkzeugmaschine.

Anmerkung: Weitere Begriffe siehe DIN 66 217.

1.1.1.6 Hilfsbegriffe

Die einheitliche Betrachtung der verschiedenen Spanungsverfahren erfordert die Einführung einiger Hilfsbegriffe:

Vorschubrichtungswinkel φ

Der Vorschubrichtungswinkel φ ist der Winkel zwischen Vorschubrichtung und Schnittrichtung (Bilder 1.7 bis 1.11).

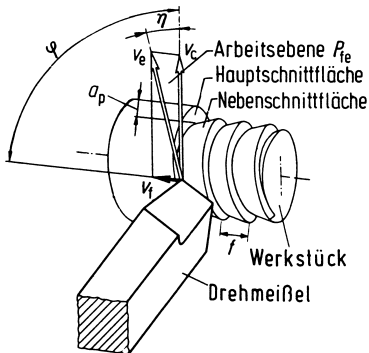


Bild 1.7 Arbeitsebene P_{fe} , Vorschubrichtungswinkel φ und Wirkrichtungswinkel η beim Drehen (nach DIN 6580)

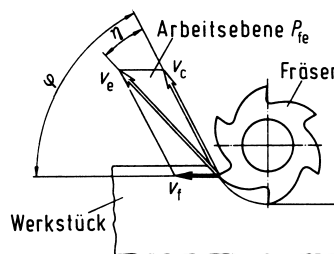


Bild 1.8 Arbeitsebene P_{fe} , Vorschubrichtungswinkel φ und Wirkrichtungswinkel η beim Gegenlaufräsen mit Walzenfräser ($\varphi < 90^\circ$) (nach DIN 6580)

Bei manchen Spanungsvorgängen, z. B. beim Fräsen, ändert sich φ laufend während des Schneidens (Bilder 1.8 bis 1.9). Dagegen ist bei anderen Spanungsvorgängen φ konstant = 90°

(siehe Bild 1.7), was bei diesen Vorgängen eine vereinfachte Berechnung des Wirkrichtungswinkels η nach sich zieht (siehe Gl. 1.4).

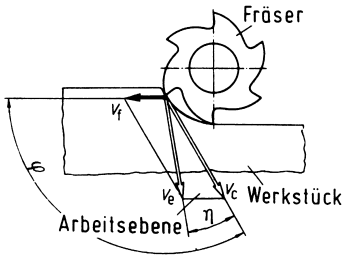


Bild 1.9 Arbeitsebene P_{fe} , Vorschubrichtungswinkel φ und Wirkrichtungswinkel η beim Gleichlaufräsen mit Walzenfräser ($\varphi > 90^\circ$) (nach DIN 6580)

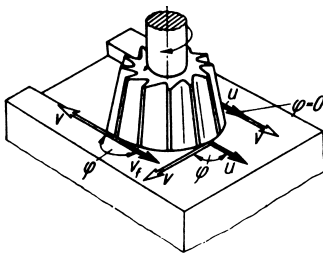


Bild 1.10 Vorschubrichtungswinkel φ beim Fräsen mit Stirnfräser (nach DIN 6580)

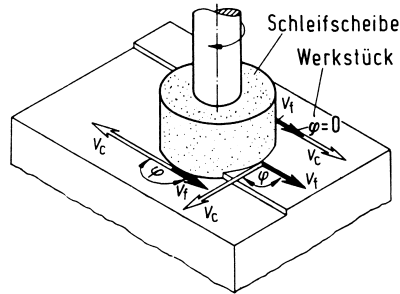


Bild 1.11 Vorschubrichtungswinkel φ beim Schleifen mit Stirnfräser (nach DIN 6580)

Wirkrichtungswinkel

Der Wirkrichtungswinkel η ist der Winkel zwischen Wirkrichtung und Schnittrichtung (Bilder 1.7 bis 1.9):

$$\tan \eta = \frac{\sin \varphi}{\frac{v_c}{v_f} + \cos \varphi} \quad (1.3)$$

Bei

$$\varphi = 90^\circ \quad \text{ist} \quad \tan \eta = \frac{v_f}{v_c} \quad (1.4)$$

Arbeitsebene P_{fe}

Die Arbeitsebene P_{fe} ist eine gedachte Ebene, die die Schnittrichtung und die Vorschubrichtung (in dem jeweils betrachteten Schneidpunkt) enthält. In ihr vollziehen sich die Bewegungen, die an der Spanentstehung beteiligt sind (Bilder 1.7 bis 1.9).

Anmerkung: Es gibt immer nur eine Arbeitsebene, auch dann, wenn die Vorschubbewegung aus mehreren Komponenten erzeugt wird, weil es momentan immer nur eine Vorschubrichtung gibt.

1.1.1.7 Flächen am Werkstück

Man unterscheidet die Ausgangsfläche, die Schnittfläche und die gefertigte Fläche. Während man unter der Ausgangsfläche die Oberfläche des zu bearbeitenden Werkstücks vor dem Spanen versteht (Bild 1.12), ist die Schnittfläche die am Werkstück von der Werkzeugschneide erzeugte Fläche (Bild 1.12).

Ein Teil dieser Schnittfläche wird bei der nächsten Umdrehung bzw. beim nächsten Hub wieder abgespannt. Die am Werkstück verbleibenden Teile bilden die gefertigte Fläche, d. h. im Endeffekt diejenige Fläche am Werkstück, die durch den Spanungsvorgang erzeugt wurde (Bild 1.12).

Anmerkung: Entsprechend der Unterscheidung von Haupt- und Nebenschneide kann zwischen Haupt- und Nebenschnittflächen unterschieden werden, siehe auch Bild 1.12 und DIN 6580.

1.1.1.8 Vorschubgrößen

Vorschub f

Der Vorschub f ist der Vorschub je Umdrehung oder je Hub (Bild 1.12) gemessen in der Arbeitsebene.

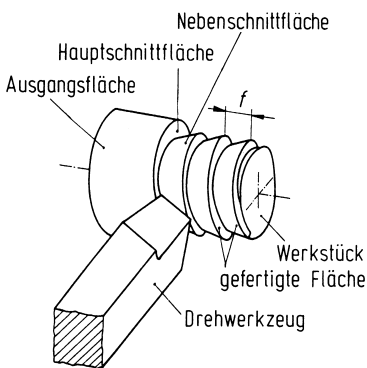


Bild 1.12 Flächen und Vorschub f beim Drehen (nach DIN 6580)

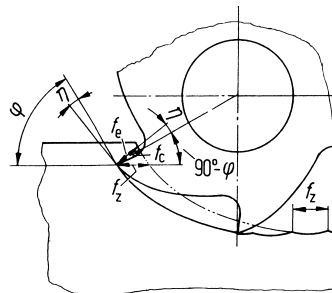


Bild 1.13 Zahnvorschub f_z , Schnittvorschub f_c und Wirkvorschub f_e beim Gegenlaufräsen (nach DIN 6580)

Zahnvorschub f_z

Der Zahnvorschub f_z ist der Vorschubweg zwischen zwei unmittelbar nacheinander entstehenden Schnittflächen, also der Vorschub je Zahn oder je Schneide (Bild 1.13), gemessen in der Arbeitsebene. Es ist

$$f_z = \frac{f}{z} \quad z \text{ Anzahl der Schneidenträger (Zähne).} \quad (1.5)$$

Ist $z = 1$, z. B. beim Fräsen mit einem Einzahnfräser oder beim Drehen, so wird damit

$$f_z = f \quad (1.6)$$

Beim Räumen entspricht dem Zahnvorschub die Zahnstaffelung. Vom Zahnvorschub f_z abgeleitet sind der Schnittvorschub f_c und der Wirkvorschub f_e .

Schnittvorschub f_c

Der Schnittvorschub f_c ist der Abstand zweier unmittelbar nacheinander entstehenden Schnittflächen, gemessen in der Arbeitsebene und senkrecht zur Schnittrichtung (Bild 1.13). Es ist

$$f_c \approx f_z \sin \varphi \quad (1.7)$$

Bei Spannungsvorgängen mit $\varphi = 90^\circ$ (z. B. beim Drehen und Hobeln) ist

$$f_c = f_z \quad (1.8)$$

Wirkvorschub f_e

Der Wirkvorschub f_e ist der Abstand zweier unmittelbar nacheinander entstehenden Schnittflächen, gemessen in der Arbeitsebene und senkrecht zur Wirkrichtung (Bild 1.13). Es ist

$$f_e \approx f_z \sin(\varphi - \eta) \quad (1.9)$$

In vielen Fällen ist das Verhältnis v_f/v_c so klein, dass η vernachlässigbar ist. Dann ist mit genügender Genauigkeit

$$f_e \approx f_z \sin \varphi \approx f_c \quad (1.10)$$

1.1.1.9 Eingriffsgrößen

Die Eingriffsgrößen beschreiben geometrisch das Ineinandergreifen von Werkzeug und Werkstück, also des Wirkpaares.

a) Eingriffsgrößen des Werkzeuges, bezogen auf die Arbeitsebene

Schnitttiefe bzw. Schnittbreite a_p

Die Schnitttiefe bzw. Schnittbreite a_p ist die Tiefe bzw. Breite des Eingriffs der Hauptschneide, senkrecht zur Arbeitsebene gemessen (Bilder 1.14 bis 1.18).

Beim Langdrehen und Plandrehen, Stirnfräsen und Seitenschleifen entspricht a_p der Tiefe des Eingriffs (Schnitttiefe).

Beim Einstechen, Räumen, Walzfräsen und Umfangsschleifen entspricht a_p der Breite des Eingriffs, also der Schnittbreite.

Beim Bohren ins Volle entspricht a_p dem halben Bohrerdurchmesser.

Arbeitseingriff a_e

Der Arbeitseingriff a_e ist die Größe des Eingriffes des Werkzeuges, gemessen in der Arbeitsebene und senkrecht zur Vorschubrichtung.

Sachwortverzeichnis

A

Abklingkurven der Verfestigung 136
abrasiver Verschleiß 87
Abwälzfräser 248
adhäsiver Verschleiß 88
Aktivkraft 39
Alterungsschutzstoff 144
Aluminium, partikelverstärktes 384
analytischer Ansatz 49
angenommene Arbeitsebene 35
Anlaufweg 362
Ansätze zur Modellierung der Spanbildung 48
–, analytischer Ansatz 49
–, empirischer Ansatz 48
–, mechanistischer Ansatz 53
Anstellbewegung 21
Anstellgeschwindigkeit 23
Antriebsleistung 113
Arbeitsebene 24
–, angenommene 35
Arbeitseingriff 26
– der Schneide 27
Arbeitshöchstumfangsgeschwindigkeit, Schleifkörper 356
arbeitscharfe Schneide 106
arithmetischer Mittenrauhwert 131
Aufbauschnaide 58
Aufbauschnaidenbildung 58
Aufbohren, mit Spiralbohrer 190, 347
Auflagefläche 32
Aufnahmefähigkeit des Spanraums 219
Außenrundlappen 301
außermittiges Stirnfräsen 205
Ausgangsfläche 25
Axialkraft, beim Fräsen 329
Axialvorschub 361

B

Bandsäge 354
Bearbeitungsrandschicht 135
Bearbeitungsrestspannung 135 f.
Berechnungsbeispiel 180, 192, 209, 216, 224, 231, 240, 245, 274
Bewegungen zwischen Werkzeugschneide und Werkstück 20

Bewegungsrichtung 21
Bewertungsgrößen für das Standvermögen 45
Bindung, Art 284
–, Porosität 284
Biozid 144
Bogenschneide 109
Bohren 182, 369
– hoch legierter Stähle 379
– ins Volle 348
– mit Spiralbohrer 190, 345 f.
– mit SS-Spiralbohrer 348
– mit Vollhartmetallbohrsenkern 347
– von Titan und Titanlegierungen 383
Bohrerdurchmesser für Gewindekerndurchmesser 347
Bornitrid 79, 84
Bornitridkörnungsgröße 359
Brammertz'sche Spanziffeltheorie 132
Bröckelspan 57
Bruchdehnung 58

C

chemische Dampfphasenabscheidung 80

D

Dampfphasenabscheidung, chemische 80
–, physikalische 81
Diamant 84
–, monokristalliner 78
–, polykristalliner 78
Diamantkörnungsgröße 359
Diamantschleifkörper 84
Diffusionsverschleiß 87
Drallrichtung, beim Fräsen 329
Drangkraft 55 f., 107
Drehen 167, 368
– auf Automaten 179
– hoch legierter Stähle 378
– mit Bornitrid 326
– mit Hartmetall, Richtwerte 316
– mit Schneidkeramik 325
– von Titan und Titanlegierungen 383
Druckeigenspannung 138
Druckkraft der Maschine 220

E

Eckenfase 34
 Eckenrundung 34
 Eigenschaften gebräuchlicher Schneidstoffe 65
 Einflussgröße 139 ff.
 Eingriffsgröße 26
 Einlippenbohrer 353
 Einstechschleifen 237
 Einstellwinkel, Umrechnungsfaktoren 310
 Einstellwinkeleinfluss 100
 Einwälzzähnezahl 363
 empirischer Ansatz 48
 Emulgator 144
 Endenergie 117
 Energie, kumulierte 119
 Energieaufwand 116
 – beim Spanen 116
 –, kumulierter 119
 –, spezifischer 116
 –, spezifischer End- 118
 –, spezifischer Primär- 118
 Entschäumer 144
 Entwicklungstendenzen 287, 305
 externe technologische Optimierung 116

F

Feinbearbeitungsbedingung 110
 Feinbearbeitungsverfahren, mit geometrisch unbestimmter Schneide 280
 Feindrehen 132
 – mit Diamantwerkzeugen 325
 – mit Hartmetallwerkzeugen 325
 Fertigungskosten 164
 Fertigungsverfahren, Ordnungssystem 17
 Festigkeit 220
 Fettschmierstoff 144
 Finite-Elemente-Methode (FEM) 122
 Flachläppen, einseitiges 299
 Flachscheifen 238
 – mit dem Schleifkörperumfang 238
 – mit der Schleifkörperstirnfläche 239
 Fließspan 59
 Formabweichung 129
 Formfräser 247, 266, 332
 Fräsdornbelastung, zulässige 341
 Fräsen 193, 332, 370
 –, Axialkraft 329
 –, Drallrichtung 329
 –, hoch legierter Stähle 380
 – mit Formfräser 247, 266
 – mit hartmetallbestückten Fräsköpfen, gelötete Ausführung 337

– mit Schneidkeramik 325
 –, Schneidrichtung 329
 – von Titan und Titanlegierungen 383
 Fräser, aus Schnellarbeitsstahl 329 f.
 – aus Schnellarbeitsstahl (SS) und Hartmetall-schneiden (HM), Richtwerte 340
 Fräserdurchmesser 362
 Fräskopffräsen 337
 freier Schnitt 48, 55
 Freifläche 33
 Freiflächen-Orthogonalebene 35
 Freiflächenverschleiß 46, 89

G

Gebrauchsenergie 117
 gefertigte Fläche 25
 Gefügestruktur, veränderte 135
 Geometrie, am Schneidteil 31
 – der Oberfläche 129
 – des Spannungsvorgangs 19
 geometrisch bestimmte Schneide 109
 geschichtliche Entwicklung der Schneidstoffe 68
 Geschwindigkeitsverhältnis 356
 Geschwindigkeitsverhältnisse 54
 Gestaltabweichung 130
 Gewindebohren, Schnittkraftberechnung 186
 Gewindebohrer 349
 Gewindedrehen 170
 Gewindefräsen 207
 Gewindegewindeschlagfräsen 208
 –, Außengewinde mit Hartmetall 342
 –, Innengewinde mit Hartmetall 343
 Gewindegewindeschneiden 326
 – hoch legierter Stähle 380
 Grundgleichung nach KIENZLE 103

H

harter Schneidstoff 394
 Härtetemperatur 70
 Hartlegierung, gegossene 72
 Hartmetall, wolframcarbidfreies 74
 –, Zusammensetzung und Eigenschaften 74
 hartmetallbestückte Reibahle 350 f.
 Hartmetall-drehmeißel, Temperaturverteilung 86
 Hartmetall-Wendepplattenbohrer 348
 Hartmetallwerkzeug 359
 Hartschaben 258
 Hartschalen 258
 Hartstoffanteil 67, 101
 Hauptschneide 34

Hauptzeit, Berechnung 169, 190, 203, 215, 224, 231, 235
–, Berechnung, Verfahrenüberblick 246
High-speed-cutting (HSC) 158
Hobeln 214
– hoch legierter Stähle 379
– mit Hartmetall 327
– mit Schnellarbeitsstahl 327
Hochgeschwindigkeitsbearbeitung 158
– beim Fräsen 160
Hochleistungs-Sägeblatt 354
hohe Schnittgeschwindigkeit, Spanbildungsprozess 161
Honen 281
–, Genauigkeit 282
–, Verfahrenseinführung 281
HSC 158
–, praktische Realisierung 159

I

Innendrehen, Korrekturwerte 314
Innenfeindrehen 112
Innenlappen 301

K

Kammrissbildung 89
Kantenversetzung an der Spanfläche 46
Kegeldrehen 171
Kegelradbearbeitung 267
Kegelradfertigung 278
– mittels Messerköpfen 273
Kinematik des Spannungsvorgangs 19
Koeffizienten der Standzeitbeziehung für Fräskopffräsen 337
Kolkbreite 47
Kolkklippenbreite 47
Kolktiefe 47
Kolkverhältnis 47
Kolkverschleiß 47, 89
Komponenten der Zerspankraft 40
Korrekturfaktor 105
– für den Spanwinkel (kurz spanende Werkstoffe) 306
– für den Spanwinkel (lang spanende Werkstoffe) 306
– für die Schnittgeschwindigkeit 306
Korrosionsschutzzusatz 144
Kraft beim Spanen 39
Kräfteverhältnisse 55
– beim Spanen im freien Schnitt 56
Kühlmitteleinfluss 101

Kühlschmierstoff 143, 358
–, Auswahl 147
–, Auswirkungen 146
– für das Spanen 145
Kühlschmierstoffmenge, Richtwerte 147
Kühlschmierung 105
kumulierte Energie 119
kumulierter Energieaufwand 119
Kunststoff, Sägen 372
–, Schleifen 372
–, spanende Bearbeitung 367–370
–, thermoplastischer 373
Kurzgewindefräsen 207, 342
Kurzprüfverfahren 139 ff.

L

Lageabweichung 129
Lamellenspan 57 f.
Langdrehen 169
Langgewindefräsen 207, 342
Langnachformdrehen 176
Längsschleifen 235
Lappen 294
–, Genauigkeit 298
– mit formübertragendem Gegenstück 299
– ohne formübertragendes Gegenstück 303
–, Verfahren und Werkzeugmaschinen 299
–, Verfahrenseinführung 294
Leistung, vom Motor aufgenommene 113
Leistungsberechnung 182
– bei der Zahnradbearbeitung 241
– beim Drehen 167
– beim Fräsen 193
– beim Hobeln und Stoßen 214
– beim Räumen 218
– beim Reiben 186
– beim Sägen 228
– beim Schleifen 233
Leistungsermittlung, verkürztes grafisch-rechnerisches Verfahren 198

M

Makroriss 135
Maschinenauslastung 114
Maschinenauslastungsdiagramm 114 f.
Maschinengerade 114
Materialanteilkurve 131
Materialausnutzung 117
Materialeinsparung 117
Materialmodell 125
Mechanik der Spanbildung 48

mechanistischer Ansatz 53
 Mehrspindeldrehautomat 323
 Messmethode 139 ff.
 Mikroriss 135
 Minimalmengenschmierung (MMS) 150
 Mittenrauhwert, arithmetischer 131
 mittiges Stirnfräsen 204
 Modellierung, molekuldynamische 124
 molekuldynamische Modellierung 124
 monokristalliner Diamant 78

N

Nachformdrehen 176
 Nachformfräsen 341
 – hoch legierter Stähle 380
 Nachstellgeschwindigkeit 23
 Nassbearbeitung 148, 150
 Nebenschneide 34
 nominelle mittlere Spannungsdicke 112
 nominelle Schnitttiefe 111
 Nutenfräsen 206
 – auf Nutenfräsmaschinen 206
 Nutenfräsmaschine 206
 Nutenschnittfräsen 206
 Nutentauchfräsen 207

O

oberflächenbehandelte Schneidstoffe 80
 Oberfläche, Geometrie 129
 Oberflächenbeschaffenheit 134 f.
 Oberflächengestalt 129
 Oberflächenqualität 129
 Oberflächenrauheit 129
 Oberflächenschicht, beim Spanen, schematischer Aufbau 135
 Oberflächenschnitt 130
 Oberflächenverfestigung 102
 Oberflächenverhalten 137
 Oberflächenwelligkeit 129
 Optimierung, externe technologische 116
 –, technologische 97
 Ordnungssystem der Fertigungsverfahren 17
 Oxidationsverschleiß 88

P

Palloid-Spiralkegelräder 271
 partikelverstärktes Aluminium 384
 Passivkraft 39, 55, 107, 109
 –, Berechnung 107
 –, spezifische, Hauptwert 108
 physikalische Dampfphasenabscheidung 81

Plan- und Eckfräsköpfe, Richtwerte 338 f.
 Plandrehen 173
 –, Korrekturwerte 314
 Plannachformdrehen 178
 Planringdrehen 175
 plastische Verfestigung 135
 plastische Verformung 135
 polykristalliner Diamant 78
 Porosität 284
 Primärenergie 117
 Primärenergieaufwand 117
 Prinzip der Minimalmengenschmierung 150
 Profilläppen 301

R

Radialvorschub 260
 Radius der Schneidkantenrundung 134
 Rauheit, erreichbare 133
 Räumen 218
 – hoch legierter Stähle 379
 – mit Schnellarbeitsstahl 355
 –, Schnittgeschwindigkeit 355
 –, Werkzeugwinkel 355
 –, Zahnvorschub 355
 Räumwerkzeug, Berechnung der Teilung 219
 –, Festigkeit 220
 –, Zahnung 221
 Rautiefe, theoretische 132
 Reiben 182, 192, 371
 – hoch legierter Stähle 379
 –, Leistungsberechnung 186
 –, Schnittkraftberechnung 186
 Reibungsmodell 127
 Reibuntermaß 350
 Reißspan 57
 Revolverdrehautomat 323
 Revolverdrehmaschine 319–322
 Rückstellgeschwindigkeit 23
 Rundschleifen 235

S

Sägen 228
 – von Kunststoffen 372
 Schädigungsmodell 128
 Schafffräser 332
 – aus Vollhartmetall, Richtwerte 339
 Scheibenfräser 247, 332
 schematische Einteilung der Schneidstoffe 65
 Schergeschwindigkeit 54 f.
 Scherspan 57
 Scherzone 59

- Schleifen 232
 – mit Diamant und Bornitrid 357 f.
 – von Hartmetallwerkzeugen 359
 – von Kunststoffen 372
 Schleifkörper, Arbeitshöchstumfangsgeschwindigkeit 356
 –, keramisch gebundener 357
 Schleifmittel 83
 –, Zusammensetzung und Anwendung 84
 Schleifscheibe, Umfangsgeschwindigkeit 356
 SCHLESINGER-Kriterium 107
 Schlichtbarkeit 139–142
 Schlichtbearbeitung 63
 Schlichten 142
 Schmiermitteleinfluss 101
 Schmierölzusatz 144
 Schneckenbearbeitung 266
 Schneckenradbearbeitung 260
 Schneckentrieb 260
 –, Fertigung 276
 Schneidbarkeit 142
 Schneiddiamant 78
 Schneide 33
 –, arbeitsscharfe 106
 –, geometrisch bestimmte 109
 Schneidenecke 34
 Schneidenkantenrundung 34
 Schneiden-Normalebene 35
 Schneidfähigkeit des Werkzeuges 44
 Schneidhaltigkeit des Werkzeuges 44
 Schneidkantenrundung 132
 –, Radius 134
 Schneidkantenverschleiß 46, 89
 Schneidkeil 32
 Schneidkeramik 75
 Schneidrichtung, beim Fräsen 329
 Schneidstoff 392
 –, Anwendung 63
 –, Eigenschaften gebräuchlicher 65
 –, geschichtliche Entwicklung 68
 –, harter 394
 –, schematische Einteilung 65
 –, superharter 77
 –, Zerspanungshauptgruppen und Anwendungsgruppen 394
 Schneidstoffauswahl 82
 Schneidstoffe, oberflächenbehandelte 80
 Schneidstoffeinfluss 101
 Schneidstoffkorrektur 104
 Schneidteil 32
 –, Geometrie 31
 Schnellarbeitsstahl 69, 323, 392
 –, Analyse 392
 –, Anwendungsrichtlinien 393
 –, Legierungs- und Leistungsgruppen 70
 –, Wärmebehandlung 392
 –, Wärmebehandlung und Anwendung 71
 –, Warmformgebung 392
 –, Warmhärte 71
 Schnellarbeitsstahlreibahle 350 f.
 –, Werkzeugwinkel 350
 Schnitt, freier 48, 55
 Schnittarbeit 42
 Schnittbewegung 21
 Schnittbreite 26
 – der Schneide 27
 Schnittenergie 42
 Schnittfläche 25
 –, spezifische 354
 Schnittgeschwindigkeit 22, 54, 160, 164
 – beim Räumen 355
 – für die Hochgeschwindigkeitsbearbeitung beim Fräsen 160
 –, hohe, Spanbildungsprozess 161
 –, Richtwerttabellen 310
 –, ultrahohe 159
 Schnittgeschwindigkeitseinfluss 100
 Schnittgeschwindigkeitskorrektur 104
 Schnittkraft 41, 55 f., 97 f., 109
 –, Berechnung 103, 109
 –, Einflussgrößen 98
 –, spezifische 98, 104, 112, 306, 367
 –, spezifische, Einfluss von Vorschub und Schnitttiefe 102
 –, spezifische, Einflussgrößen 98
 –, spezifische, Hauptwert 104, 108
 –, spezifische, Streuung 309
 Schnittkraftberechnung 182
 – bei der Zahnradbearbeitung 241
 – beim Drehen 167
 – beim Fräsen 193
 – beim Gewindebohren 186
 – beim Hobeln und Stoßen 214
 – beim Räumen 218
 – beim Reiben 186
 – beim Sägen 228
 – beim Schleifen 233
 Schnittkraftgleichung 103
 Schnittleistung 43, 113
 Schnittnormalkraft 41
 Schnitttiefe 26, 102
 – der Schneide 27

- , nominelle 111
- , Umrechnungsfaktoren 314
- Schnitttiefeinfluss 99
- Schnittvolumen 30
- Schnittvorschub 26
- Schnittweg 22
- Schnittwertoptimierung 120
 - , Regeln 120
- Schnittzahl 361
- Schrägschnitt 130
- Schrägahnstirnrad 364
- Schraubwälzfräsen, von Palloid-Spiralkegelrädern 271
- Schraubwälzschleifen 255
- Schrupbarkeit 139–142
- Schruppbearbeitung 63
- Schruppen 142
- Schrupp-Wälzfräsen 362
- Seitenspanwinkel, Spiralbohrer 344
- Senken 182, 192, 371
 - , Ableitung der Gleichungen 185
 - mit Hartmetallwerkzeugen 350
 - mit HSS-Werkzeugen 349
- Senkrechtschnitt 130
- Simulation 121
- Sinterhartmetall 72
- Smoothed Particle Hydrodynamics 124
- Spanart 57
- Spanbarkeit 138, 142
 - des Werkstoffs 44
 - des Werkstücks 44
 - von Stahl 138
- Spanbarkeitsprüfung 138
- Spanbildung, Ansätze zur Modellierung 48
 - , Mechanik 48
 - , Modellvorstellung 52
- Spanbildungsprozess, Auswirkungen 63
- Spanbildungszone 59
- Spanbreitung 50
- Spanndickung 49
- Spanen, von partikelverstärktem Aluminium 384
 - von Titan und Titanlegierungen 381
- spanende Bearbeitung, von hoch legierten Stählen 375
 - von Kunststoffen 367–370
- Spanfläche 33
 - , Kantenversetzung 46
- Spanflächen-Orthogonalebene 35
- Spanflächenverschleiß 89
- Spanform 60 f., 324
- Spanformklasse 61 f.
- Spangeschwindigkeit 54 f.
- Spankürzung 50
- Spanleitstufe 62
- Spanraum, Aufnahmefähigkeit 219
- Spanstauchung 160
- Spanungsbreite 29, 104
- Spanungsdicke 29, 104
 - , nominelle mittlere 112
- Spanungsgröße 28
- Spanungsquerschnitt 28, 104
- Spanungsschicht 30
- Spanungstemperatur 85
- Spanungsverhältnis, Einfluss 99
- Spanungsvolumen 31
 - , spezifisches 113
- Spanungsvorgang, Geometrie 19
 - , Kinematik 19
- Spanwinkeleinfluss 100
- Spanwinkelkorrektur 104
 - spezifische Passivkraft, Hauptwert 108
 - spezifische Schnittfläche 354
 - spezifische Schnittkraft 98, 104, 112, 306
 - , Einfluss von Vorschub und Schnitttiefe 102
 - , Einflussgrößen 98
 - , Hauptwert 104, 108
 - , spanende Bearbeitung von Kunststoffen 367
 - , Streuung 309
 - spezifische Vorschubkraft, Hauptwert 108
 - spezifischer Endenergieaufwand 118
 - spezifischer Energieaufwand 116
 - spezifischer Primärenergieaufwand 118
 - spezifisches Spanungsvolumen 113
- Spiralbohrer 345 f.
 - , Aufbohren 347
 - , Seitenspanwinkel 344
 - , Spitzenwinkel 344
 - Spitzenverschleiß 89
 - Spitzenwinkel, Spiralbohrer 344
- Stahl, hoch legierter 378 ff.
 - , hoch legierter, Einteilung 377
- Standbedingung 44
- Standbegriffe 44
- Standgröße 45
- Standkriterium 45
- Standmenge 45
- Standvermögen 44
 - , Bewertungsgrößen 45
- Standvolumen 45
- Standweg 45
- Standzeit 45, 91
 - , Einflussgrößen 91
- Standzeitbegriff, Definition 91
- Standzeitdiagramm 91 f.

Standzeitgleichung 95
 Standzeitschnittgeschwindigkeit 114
 Stirnfräsen 204, 209
 –, außermittiges 205
 – mit Bornitrid 341
 –, mittiges 204
 – unter Feinbearbeitungsbedingungen 110
 Stirnrad, gerad- und schrägverzahnt 242
 –, geradverzahnt 244
 Stirnradbearbeitung 247
 Stirnradfertigung 274
 Stirnradwälzstoßen, System Maag 363
 Stoßen 214
 – mit Hartmetall 327
 – mit Schnellarbeitsstahl 327
 Stoßlappen 302
 Strahl-Läppen 303
 Streuung der spezifischen Schnittkraft 309
 Strukturänderung 135
 Strukturlinie 59
 Superfinish 287
 –, Genauigkeit 288
 –, Verfahrenseinführung 287
 superharter Schneidstoff 77

T

Tangentialvorschub 261
 Tauchlappen 305
 technologische Optimierung 97
 Teilung 219
 Temperaturverteilung in einem Hartmetalldreh-
 meißel 86
 theoretische Rautiefe 132
 thermoplastischer Kunststoff 373
 Tieflochbohren 352
 Titan 381, 383
 Titanlegierung 381, 383
 Trockenbearbeitung 148, 152
 –, Darstellung der Möglichkeiten 154

U

ultrahohe Schnittgeschwindigkeit 159
 Umfangsfräsen 203, 212
 –, Berechnungsform 197
 Umfangsgeschwindigkeit, Schleifscheibe 356

V

Verfahrensfaktor 106
 verfestigte Schicht, Tiefe 135
 Verfestigung, Abklingkurven 136
 –, Intensität 135
 –, plastische 135

Verfestigungsgrad 135
 Verfestigungstiefe 135
 Verformung, plastische 135
 Verkürztes grafisch-rechnerisches Verfahren der
 Leistungsermittlung 198
 Verschleißursache 87
 Verschleiß, abrasiver 87
 –, adhäsiver 88
 –, Auswirkungen 90
 –, Diffusions- 87
 –, Oxidations- 88
 Verschleißart 89
 –, Freiflächenverschleiß 89
 –, Kammrissbildung 89
 –, Kolkverschleiß 89
 –, Schneidkantenverschleiß 89
 –, Spanflächenverschleiß 89
 –, Spitzenverschleiß 89
 Verschleißdiagramm 91 f.
 Verschleißeinfluss 102
 Verschleißgrößen am Drehmeißel 47
 Verschleißkorrektur 104
 Verschleißkriterium 90
 Verzahnungsverfahren 279
 Vollbohrkopf 352
 Vollhartmetallbohrsenker 347
 Vorbohrdurchmesser 347
 Vorschub 25, 102
 Vorschubarbeit 43
 Vorschubbewegung 21
 Vorschubeinfluss 99
 Vorschubeingriff 27
 – der Schneide 28
 Vorschubenergie 43
 Vorschubgeschwindigkeit 23
 Vorschubgröße 25
 Vorschubkraft 41, 55, 107, 109
 –, Berechnung 107
 –, spezifische, Hauptwert 108
 Vorschubleistung 44, 113
 Vorschubnormalkraft 41
 Vorschubrichtungswinkel 23
 Vorschubweg 22

W

Walzenfräser 332
 Walzenstirnfräser 332
 Wälzfräsen 242, 245
 – mit Abwälzfräser 248
 – mit Radialvorschub 260
 – mit Schlagmesser 263

- mit Tangentialvorschub 261
 - von Stirnrädern 361 f.
 - Wälzhonen 259
 - Wälzschalen 265
 - Wälzstoßen 244, 249
 - mit Kammmeißel, System Maag 250
 - mit Schneidrad 249
 - von Schräg Zahnstirnrädern 364
 - Wärmebehandlung 392
 - Wärmeentstehungszone 85
 - Warmformgebung 392
 - Welligkeit 130
 - Wendeschneidplatte 62
 - Werkstück 20
 - Werkstoffeinfluss 98
 - Werkstoffgruppe 385
 - Werkstück und Fertigungsergebnis 282, 289
 - Werkstückgeschwindigkeit 356
 - Werkzeug und Fertigungsergebnis 283, 290
 - Werkzeugabmessungen 283
 - Werkzeugachse 32
 - Werkzeug-Bezugsebene 35
 - Werkzeug-Bezugssystem 34
 - Werkzeugbohrung 32
 - Werkzeug-Eckenwinkel 36
 - Werkzeug-Einstellergänzungswinkel 36
 - Werkzeug-Einstellwinkel 36
 - Werkzeug-Freiwinkel 36
 - Werkzeuggerade 114
 - Werkzeuggestaltung 283
 - Werkzeug-Keilwinkel 36
 - Werkzeugmaschine und Fertigungsergebnis 285, 291
 - Werkzeug-Neigungswinkel 36
 - Werkzeug-Orthogonalebene 35
 - Werkzeug-Rückebene 35
 - Werkzeugschaft 32
 - Werkzeugschneide 20
 - Werkzeug-Schneidenebene 35
 - Werkzeug-Spanwinkel 36
 - Werkzeugstahl, legiert 68
 - , unlegiert 68
 - Werkzeugstandzeit, Beeinflussung 93 f.
 - Werkzeugtyp 328, 344
 - Werkzeugverschleiß 46
 - Werkzeugwinkel 34, 330
 - am Drehmeißel 36
 - beim Räumen 355
 - , Drehen mit Hartmetall 315
 - , Drehen mit Schnellarbeitsstahl 316
 - , hartmetallbestückte Fräser 331
 - , Schnellarbeitsstahlreibahle 350
 - 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 113
 - Wirkvorschub 26
 - Wirkweg 22
 - Wirkwinkel 37
 - am Drehmeißel 38
 - Wirtschaftlichkeit 287, 293
 - wolframcarbidgefreies Hartmetall 74
- Z**
- Zähnezahl 329 ff.
 - Zahnflankenschleifen 244, 246, 254
 - , System Niles 254, 364
 - Zahnradbearbeitung 241
 - Zahnradschaben 257, 364
 - Zahnung 221
 - Zahnvorschub 25
 - beim Räumen 355
 - Zeitspannungsvolumen 113
 - Zerspanbarkeit, der Stahlwerkstoffe 376
 - Zerspankraft 39 f., 97
 - , Komponenten 40
 - Zugeigenspannung 138
 - Zugkraft der Maschine 220
 - zulässige Fräsdornbelastung 341
 - Zustellbewegung 21
 - Zustellgeschwindigkeit 23
 - Zweimeißelwälzhobeln, System Heidenreich und Harbeck 267
 - von Kegelrädern 365