

Vorwort

Dieses Buch entstand aus der Vorlesungsreihe „Fertigungslehre“ an der Technischen Universität Chemnitz, die gemeinsam durch die Lehrstühle „Fertigungslehre“, „Fertigungstechnik / Umformverfahren“ und „Schweißtechnik“ der TU Chemnitz sowie durch den Lehrstuhl „Hütten-, Gießerei- und Urformmaschinen“ der Technischen Universität Bergakademie Freiberg getragen wird.

Hauptanliegen der Herausgeber ist es, den Studentinnen und Studenten im Bachelor der Fachrichtungen Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen sowie der integralen Studiengänge solides Basiswissen der Teilefertigung in der Einheit von Theorie der Fertigungsverfahren und Fertigungsprozessgestaltung zu vermitteln.

Das Lehrbuch behandelt die wesentlichen Grundlagen der Verfahrenshauptklassen Urformen, Umformen, Trennen, Fügen und Beschichten und schließt mit einem Leitfaden zur Fertigungsprozessgestaltung ab. Die Behandlung aller Verfahrensmodifikationen ist nicht Gegenstand dieses Lehrbuches.

Die Autoren haben sich bemüht, sich auf solche Wissensfelder zu beschränken, die bei der ständigen Weiterentwicklung der Fertigungsverfahren und Fertigungsmethoden als wissenschaftliche Grundlage längerfristig Bestand haben.

Die Autoren danken besonders Frau *Ute Eckardt* und Frau *Katrin Wulst* vom Carl Hanser Verlag für die Anregungen und kooperative Zusammenarbeit.

*Birgit Awiszus
Jürgen Bast
Holger Dürr
Peter Mayr*

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	15
2	Urformen	17
2.1	Einführung	17
2.1.1	Einordnung des Urformens in die Fertigungstechnik	17
2.1.2	Einordnung in den Einzelteilfertigungsprozess	17
2.1.3	Blockgießen	18
2.1.4	Stranggießen	18
2.1.5	Formgießen	20
2.1.6	Gussabnehmer und statistische Zahlen	20
2.2	Verfahrensprinzipien beim Urformen	21
2.2.1	Einleitung	21
2.2.2	Gieß- bzw. Formverfahren	21
2.2.3	Gussteilherstellung in Formen für den einmaligen Gebrauch	22
2.2.3.1	Einleitung	22
2.2.3.2	Handformerei	24
2.2.3.3	Maschinenformerei	25
2.2.3.4	Spezialformverfahren	26
2.2.4	Gussteilherstellung in Formen für den mehrmaligen Gebrauch (Dauerformen)	33
2.2.4.1	Einleitung	33
2.2.4.2	Schwerkraftkokillengießverfahren	34
2.2.4.3	Druckgießverfahren	34
2.2.4.4	Arten von Druckgießmaschinen	35
2.2.4.5	Verfahrensablauf beim Druckgießen	35
2.2.4.6	Thixogießverfahren	36
2.2.4.7	Niederdruckgießverfahren	37
2.2.4.8	Schleudergießverfahren	37
2.3	Gusswerkstoffe	39
2.3.1	Einführung	39
2.3.2	Kennzeichnende Kenngrößen der Gusswerkstoffe	39
2.3.2.1	Niedrige Gießtemperatur	41
2.3.2.2	Fließ- und Formfüllungsvermögen	41
2.3.2.3	Volumenänderung beim Schmelzen und Erstarren	42
2.3.3	Arten von Gusswerkstoffen	42
2.3.3.1	Gusseisenwerkstoffe	43
2.3.3.2	Stahlguss	44
2.3.3.3	Aluminium- und Magnesiumgusswerkstoffe	44
2.3.3.4	Kupfergusswerkstoffe	44
2.3.3.5	Mechanische Kennwerte wichtiger Gusswerkstoffe	44

2.4	Gussteilgestaltung	45
3	Umformen	49
3.1	Begriffe, Ordnungsgesichtspunkte	49
3.1.1	Definitionen und Abgrenzung	49
3.1.2	Einordnungsgesichtspunkte	49
3.2	Stellung und Bedeutung der Umformverfahren im Rahmen der Fertigungstechnik	51
3.2.1	Historische Entwicklung der Metallerzeugung und der mechanischen Metallbearbeitung	51
3.2.2	Vergleich der Umformverfahren mit anderen „mechanischen Formgebungsverfahren“	52
3.2.3	Typische Einsatzgebiete der Umform- und Zerteiltechnik	53
3.2.4	Besonderheiten und Entwicklungstrends	55
3.3	Ausgewählte Grundlagen der Umformtechnik	58
3.4	Typische Prozesse und Verfahren der umformenden Halbzeugfertigung	68
3.4.1	Wichtige Prozessketten der Halbzeugfertigung	68
3.4.2	Ausgewählte Umformverfahren zur Halbzeugfertigung	70
3.4.2.1	Verfahrensübersicht Walzen	70
3.4.2.2	Verfahrensübersicht Freiformen	72
3.4.2.3	Verfahrensübersicht Durchdrücken – Strangpressen	74
3.4.2.4	Verfahrensübersicht Durchziehen	76
3.4.2.5	Verfahrensübersicht Biegeumformen	77
3.5	Ausgewählte Teilefertigungsverfahren der Massivumformung	78
3.5.1	Stauchen	78
3.5.1.1	Verfahrensübersicht Stauchen	78
3.5.1.2	Bedeutung und Besonderheiten des Stauchens	79
3.5.2	Freiformschmieden und Rundkneten (Feinschmieden, Rundhämmern)	81
3.5.2.1	Verfahrensübersicht Freiformschmieden	81
3.5.2.2	Bedeutung und Besonderheiten des Freiformschmiedens	82
3.5.2.3	Verfahrensübersicht Rundkneten	82
3.5.2.4	Bedeutung und Besonderheiten des Rundknetens	83
3.5.3	Gesenkschmieden und Warmpressen	84
3.5.3.1	Verfahrensübersicht Gesenkschmieden und Warmpressen mit Grat	84
3.5.3.2	Verfahrensübersicht Gesenkschmieden und Warmpressen ohne Grat	86
3.5.3.3	Verfahrensübersicht zur Herstellung der Anfangsformen und Massenverteilungs-Zwischenformen für das Gesenkschmieden und Warmpressen	87
3.5.3.4	Bedeutung und Besonderheiten des Gesenkschmiedens und Warmpressens	89
3.5.4	Kaltfließpressen und Kaltschmieden	92
3.5.4.1	Verfahrensübersicht Kaltfließpressen und Kaltschmieden	93
3.5.4.2	Bedeutung und Besonderheiten des Kaltfließpressens und Kaltschmiedens	97
3.5.5	Walzverfahren der Teilefertigung	98
3.5.5.1	Verfahrensübersicht Walzverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung von Werkstückgrundformen	99

3.5.5.2	Verfahrensübersicht Walzverfahren zur Erzeugung von Nebenformen	104
3.5.5.3	Verfahrensübersicht Walzverfahren zur Feinbearbeitung von Oberflächen	105
3.6	Ausgewählte Teilefertigungsverfahren der Blechumformung	106
3.6.1	Verfahren zur Herstellung ebener Blechformteile durch Trennverfahren	106
3.6.1.1	Verfahrensübersicht Zerteilverfahren	106
3.6.1.2	Bedeutung und Besonderheiten des Scherschneidens	108
3.6.2	Verfahren zur Herstellung räumlicher Blechformteile	110
3.6.2.1	Verfahrensübersicht Zug-Druck-Umformverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile	110
3.6.2.2	Verfahrensübersicht Druck-Umformverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile	113
3.6.2.3	Verfahrensübersicht Zug-Umformverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile	114
3.6.2.4	Verfahrensübersicht Biege-Umformverfahren zur Erzeugung bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile	115
3.6.3	Technologischer Ablauf bei der Herstellung von Blechformteilen	117
3.7	Werkzeuge der Umform- und Schneidtechnik	119
3.8	Einflussfaktoren auf die Fertigungsgenauigkeit von Umformteilen	120
4	Trennen	123
4.1	Systematisierung der Verfahrenshauptgruppe Trennen	123
4.2	Trennen durch Spanen	124
4.2.1	Wirtschaftliche Bedeutung	124
4.2.2	Grundlagen der spanenden Fertigung	126
4.2.2.1	Klassifizierung im Überblick	126
4.2.2.2	Basisgrößen der Zerspantechnik	127
4.2.2.3	Bewegungsvorgänge und Geschwindigkeiten bei der Spanabnahme	128
4.2.2.4	Hilfsgrößen	129
4.2.2.5	Flächen und Vorschubgrößen	130
4.2.2.6	Eingriffsgrößen des Werkzeuges	131
4.2.2.7	Spanungsgrößen	132
4.2.2.8	Werkzeuggeometrie für das Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide	133
4.2.2.9	Werkzeugverschleiß / Standbegriffe und Spanbildung	137
4.2.2.10	Schneidstoffe (geometrisch bestimmte Schneide)	140
4.2.2.11	Kühlschmierstoffe	143
4.2.2.12	Schnittkraftberechnung	144
4.3	Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide	146
4.3.1	Drehen	146
4.3.1.1	Spanungsvorgang	146
4.3.1.2	Drehverfahren	146
4.3.1.3	Drehwerkzeuge	148
4.3.1.4	Zeitspanvolumen und Schnittzeit	148
4.3.2	Fräsen	150

4.3.2.1	Spanungsvorgang	150
4.3.2.2	Fräsverfahren	151
4.3.2.3	Fräswerkzeuge	155
4.3.2.4	Zeitspanvolumen und Schnittzeit	156
4.3.3	Bohren, Senken, Reiben	157
4.3.3.1	Spanungsvorgang	157
4.3.3.2	Verfahren	158
4.3.3.3	Werkzeuge	158
4.3.3.4	Zeitspanvolumen und Schnittzeit	159
4.3.4	Hobeln und Stoßen	160
4.3.5	Räumen	161
4.3.5.1	Räumverfahren	161
4.3.5.2	Räumwerkzeuge	162
4.3.5.3	Zeitspanvolumen und Schnittzeit	162
4.4	Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide	163
4.4.1	Spanungsvorgang	163
4.4.2	Schleifverfahren	164
4.4.3	Schleifwerkzeuge	168
4.4.3.1	Bezeichnung	168
4.4.3.2	Form der Schleifwerkzeuge	168
4.4.3.3	Zusammensetzung der Schleifwerkzeuge	169
4.4.4	Schleifscheibenvorbereitung	175
4.4.4.1	Auswuchten der Schleifscheiben	175
4.4.4.2	Abrichten der Schleifscheiben	175
4.4.5	Kenngrößen des Schleifprozesses	178
4.4.5.1	Außenrund-Einsteichschleifen	178
4.4.5.2	Geschwindigkeitsquotient q	179
4.4.5.3	Verschleißquotient G	179
4.4.6	Honen und Läppen	179
4.4.6.1	Honen	179
4.4.6.2	Läppen	180
4.5	Trennen durch Abtragen	180
4.5.1	Funkenerosion	182
4.5.1.1	Grundlagen	183
4.5.1.2	Anlagentechnik zum funkenerosiven Schneiden	185
4.5.1.3	Anlagentechnik zum funkenerosiven Senken	186
4.5.2	Wasserstrahltechnologie	192
4.5.2.1	Verfahrensgrundlagen	193
4.5.2.2	Anlagentechnik	195
4.5.2.3	Verfahrensmerkmale (Kerbtiefe, Schnittfläche, Schnittfuge)	199
4.5.2.4	Anwendungsgebiete	199
4.5.2.5	Zusammenfassung der Vor- und Nachteile des Verfahrens	200
4.5.3	Laserstrahltechnologie	201
4.5.3.1	Grundlagen zum Verfahren	201
4.5.3.2	Entstehung und Besonderheiten von Laserlicht	201
4.5.3.3	Lasertypen zur Materialbearbeitung	202
4.5.3.4	Nd:YAG-Festkörperlaser	203

4.5.3.5	CO ₂ -Gaslaser	204
4.5.3.6	Diodenlaser	205
4.5.3.7	Excimerlaser	206
4.5.3.8	Vorteile des Werkzeuges Laserstrahl	206
4.5.3.9	Verfahren der Lasermaterialbearbeitung	207
5	Fügen	211
5.1	Einführung in die Fügetechnik	211
5.1.1	Einteilung der Fügeverfahren	211
5.1.1.1	Schweißbarkeit	218
5.2	Schweißen mit Lichtbogen	224
5.2.1	Grundlagen der Lichtbogentechnik	224
5.2.2	Lichtbogenhandschweißen (E-Hand)	227
5.2.2.1	Prinzipskizze	227
5.2.3	Schutzgasschweißen	229
5.2.3.1	Übersicht und Gemeinsamkeiten der Verfahren	229
5.2.3.2	Metall-Schutzgasschweißen (MSG)	231
5.2.3.3	Wolfram-Inertgas-Schweißen (WIG)	234
5.2.3.4	Plasmaschweißen (WPL)	236
5.2.4	Unterpulverschweißen	238
5.2.4.1	Verfahrensprinzip und Schweißausrüstung	238
5.2.4.2	Anwendung des UP-Verfahrens	238
5.3	Widerstandspressschweißen	239
5.3.1	Physikalische Grundlagen des Widerstandspressschweißens	239
5.3.2	Punktschweißen (RP-Schweißen)	239
5.3.2.1	Verfahrensprinzip/-beschreibung	239
5.3.2.2	Einsatzmöglichkeiten	241
5.3.2.3	Besonderheiten des Verfahrens	241
5.3.2.4	Elektroden	241
5.3.2.5	Schweißpunkteinrichtung	242
5.3.2.6	Fertigungshinweise	245
5.3.3	Rollennahtschweißen (RR-Schweißen)	245
5.3.3.1	Verfahrensprinzip/-beschreibung	245
5.3.3.2	Einsatzmöglichkeiten	245
5.3.3.3	Besonderheiten des Verfahrens	246
5.3.3.4	Einrichtungen zum Rollennahtschweißen	246
5.3.3.5	Schweißstromart und Stromtaktprogramme	247
5.3.3.6	Fertigungshinweise	248
5.3.4	Buckelschweißen (RB-Schweißen)	248
5.3.4.1	Verfahrensprinzip/-beschreibung	248
5.3.4.2	Einsatzmöglichkeiten	248
5.3.4.3	Besonderheiten des Verfahrens	249
5.3.4.4	Elektroden zum Buckelschweißen	249
5.3.4.5	Buckel zum Widerstandsschweißen (auszugsweise)	250
5.3.4.6	Einrichtungen zum Buckelschweißen	250
5.3.4.7	Fertigungshinweise	251
5.3.5	Abtrennstumpfschweißen (RA-Schweißen)	251

5.3.5.1	Verfahrensprinzip/-beschreibung	251
5.3.5.2	Einsatzmöglichkeiten (auszugsweise)	252
5.3.5.3	Besonderheiten des Verfahrens	253
5.3.5.4	Einrichtungen zum Abbrennstumpfschweißen	253
5.3.5.5	Fertigungshinweise	254
5.4	Schweißen durch Bewegungsenergie	254
5.4.1	Grundlagen zur schweißtechnischen Nutzung kinetischer Energie	254
5.4.2	Reibschweißen	254
5.4.2.1	Verfahrensprinzip	254
5.4.2.2	Anwendungsbereich	255
5.4.2.3	Zusatzstoffe	257
5.4.2.4	Konstruktive Gestaltung und Festigkeit	257
5.4.2.5	Fertigungshinweise	257
5.5	Löten	259
5.5.1	Physikalisch-chemische Grundlagen des Lötens	259
5.5.2	Oberflächenaktivierung	261
5.5.3	Lötverfahren	263
5.5.4	Lote und Grundwerkstoffe	269
5.5.5	Gestaltung von Lötverbindungen	271
5.5.6	Allgemeine Anforderungen an Lötverbindungen	272
5.6	Kleben – adhäsives Verbinden von Werkstoffen	273
5.6.1	Kann man sich auf geklebte Erzeugnisse verlassen?	273
5.6.2	Warum ist eine Oberflächenbehandlung erforderlich?	273
5.6.3	Der Klebstoff: erst flüssig, dann fest	275
5.6.4	Verarbeitung von Klebstoffen	276
5.6.5	Gestaltung von Klebverbindungen	276
5.6.6	Qualitätssicherung in der Klebtechnik	277
5.7	Fügen durch Umformen	278
5.7.1	Einführung	278
5.7.2	Durchsetzfügen	279
5.7.2.1	Grundlagen	279
5.7.2.2	Anwendung	280
5.7.2.3	Ausrüstung	280
5.7.2.4	Qualitätssicherung	282
5.7.3	Stanznieten	282
5.7.3.1	Grundlagen	282
5.7.3.2	Anwendung	283
5.7.3.3	Ausrüstung	283
5.7.3.4	Qualitätssicherung	284
6	Beschichten	285
6.1	Einführung	285
6.2	Verfahrensübersicht	286
6.3	Beschichten aus dem flüssigen oder plastischen Zustand	286
6.3.1	Emaillieren	286
6.3.2	Lackieren	286
6.3.3	Schmelztauchen	287

6.4	Beschichten aus dem festen Zustand	287
6.4.1	Thermisches Spritzen	287
6.4.2	Auftragschweißen	294
6.4.3	Auftraglöten	296
6.4.4	Wirbelsintern	296
6.5	Beschichten aus dem gasförmigen, dampfförmigen oder ionisierten Zustand	298
6.5.1	PVD-Verfahren	298
6.5.2	CVD-Verfahren	298
6.5.3	Elektrolytisches Abscheiden	299
6.5.4	Chemisches Abscheiden	300
7	Stoffeigenschaftsändern durch Wärmebehandlung	301
7.1	Definitionen, Ziele, metallkundliche Effekte und Abgrenzung	301
7.2	Wärmebehandlungsprozesse für Stähle	303
7.2.1	Thermische Verfahren	304
7.2.2	Thermochemische Verfahren	311
7.2.3	Thermomechanische Verfahren	315
7.3	Bemerkungen zur fertigungstechnischen Realisierung	318
7.4	Stellung der Wärmebehandlung im Fertigungsprozess	319
8	Rapid Prototyping	321
8.1	Prototypen in der Produktentwicklung	321
8.2	Das Grundprinzip des Rapid Prototyping	322
8.3	Die Rapid Prototyping-Prozesskette	323
8.3.1	3D-CAD-Modellierung	323
8.3.2	STL-Schnittstelle	324
8.3.3	Rapid Prototyping-Datenaufbereitung	325
8.3.4	Rapid Prototyping-Bauprozess	326
8.3.5	Finishbearbeitung und Folgeverfahren	327
8.4	Industrielle Rapid Prototyping-Verfahren	328
8.4.1	Polymerisation	328
8.4.2	Laser-Sintern	330
8.4.3	Laminate-Verfahren	331
8.4.4	Extrusionsverfahren	333
8.4.5	3D-Drucken (Three Dimensional Printing – 3DP)	335
8.5	Folgetechniken und Rapid Tooling	336
8.6	Tendenzen der Entwicklung	337
9	Leitlinie zur Gestaltung von Fertigungsprozessen	339
9.1	Einführung	339
9.1.1	Aufgaben und Ziele der Fertigungsprozessgestaltung	339
9.1.2	Einflussgrößen auf den Planungsaufwand	340
9.2	Grundlagen und Begriffe	343
9.2.1	Gliederung der Fertigungsprozesse	343
9.2.1.1	Prozesselemente	343
9.2.1.2	Mengenstruktur	343
9.2.1.3	Organisationsstruktur	345

9.2.2	Funktionelle Flächeneinteilung am Einzelteil	347
9.2.3	Bestimmflächen	349
9.3	Ausarbeiten von Fertigungsprozessen der Teilefertigung	351
9.3.1	Prüfen der konstruktiven / funktionellen Anforderungen	351
9.3.2	Auswahl der Planungsweise	351
9.3.3	Generierendes Ausarbeiten des Fertigungsprozesses	352
9.3.3.1	Tätigkeiten zur Entscheidungsfindung	352
9.3.3.2	Ermittlung der technischen Elemente (Bearbeitungselemente) und des Rohteiles	353
9.3.3.3	Prozessgrobentwurf	354
9.3.3.4	Prozessdetaillierung	356
9.4	Vergleich technologischer Varianten	361
9.4.1	Entscheidungskriterien	361
9.4.2	Methoden zur Berechnung vergleichbarer Kosten	363
9.4.2.1	Kostenschema	363
9.4.2.2	Zuschlagskalkulationsmethode	363
9.4.2.3	Einzelkostenkalkulationsmethode	364
9.4.2.4	Berechnung technologischer Einzelkosten pro Stück	366
9.4.2.5	Stundenkostenkalkulationsmethode	369
9.4.3	Methodeneinschätzung für Variantenvergleich	371

10 Literaturverzeichnis

373

4 Trennen

Prof. Dr.-Ing. habil. H. Dürr, *Chemnitz*

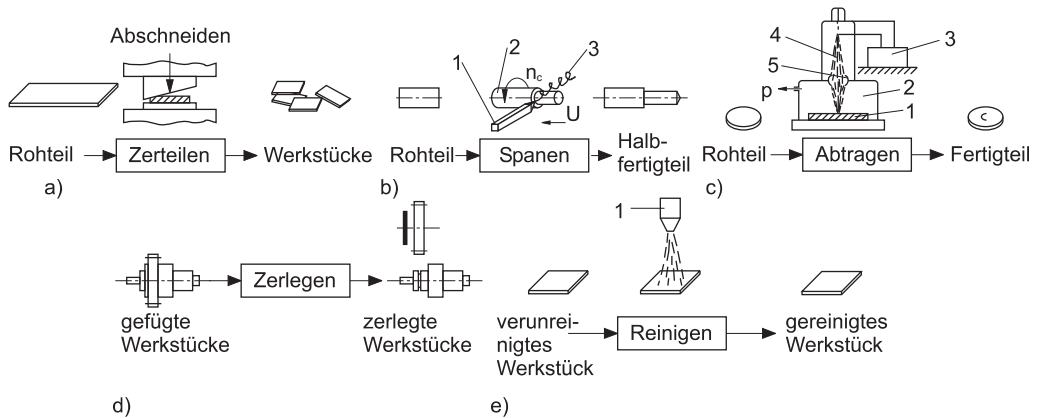
Dr. rer. nat. R. Pilz (*TU Chemnitz, Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik*)

Dr.-Ing. S. Herrbach, *Chemnitz*

Prof. Dr.-Ing. E. Seliga (*Westfälische Hochschule Zwickau, Institut für Produktionstechnik*)

4.1 Systematisierung der Verfahrenshauptgruppe Trennen

Die Ordnungsmerkmale der Verfahrenshauptgruppe Trennen sind *Stoffzusammenhaltvermindern* und *Formändern*. Die Verfahrenshauptgruppe Trennen umfasst die fünf Verfahrensgruppen Zerteilen, Spanen, Abtragen, Zerlegen und Reinigen (Bild 4.1).



a) Zerteilen durch Abschneiden

b) Spanen durch Drehen: 1 - Werkzeug, 2 - Werkstück, 3 - Span

c) Abtragen durch Elektronenstrahl: 1 - Werkstück, 2 - Vakuum, 3 - Generator, 4 - abtragender Elektronenstrahl, 5 - elektromagnetische Linse

d) Zerlegen durch Demontieren

e) Reinigen durch Strahlen: 1 - Strahldüse

Bild 4.1: *Beispiele trennender Bearbeitungsverfahren*

Trennen ist das Herstellen geometrisch bestimmter fester Körper mittels Werkzeugen durch Formändern und Stoffzusammenhaltvermindern. Geometrisch bestimmte feste Körper sind Halbzeuge, montagefähige Einzelteile oder Werkzeuge.

Die weitere Klassifizierung der Verfahren ist verfahrensgruppenabhängig und wird in den nachfolgenden Abschnitten für das Spanen und Abtragen erläutert.

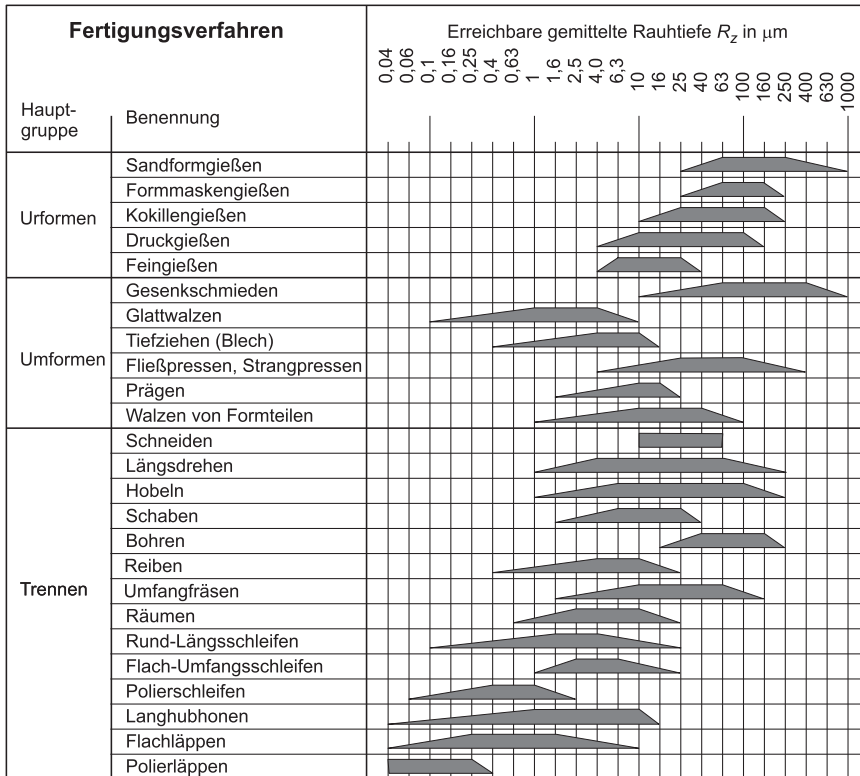
4.2 Trennen durch Spanen

4.2.1 Wirtschaftliche Bedeutung

Die Verfahrensgruppe Spanen umfasst die große Anzahl von Verfahrensuntergruppen und speziellen Verfahren, mit denen verschiedenartige Formelemente an Werkstücken durch Abtrennen von Stoffteilchen auf mechanischem Weg gefertigt werden können.

Trennende, insbesondere spanende Werkzeuge, sind meist werkstückunabhängige Werkzeuge mit geringer Formspeicherung. Um dennoch verschiedenartige Formelemente erzeugen zu können, ist ein komplizierter Bewegungsaufwand notwendig. Die Werkzeuge besitzen den Vorteil der Nachstellbarkeit, so dass hohe Forderungen hinsichtlich Maß-, Form- und Lagetoleranz sowie Oberflächengüte erfüllt werden können. Spanende Fertigungsverfahren sind daher vorwiegend Verfahren der Fertig- bzw. Feinbearbeitung vorgeformter (z. B. umgeformter) Werkstücke in mittleren Stückzahlbereichen.

Tabelle 4.1: *Fertigungsverfahren im Qualitätsvergleich (R_z) nach DIN 4766 (Auszug)*



Generell stehen die Fertigungsverfahren miteinander im „Anwendungswettbewerb“. Die besonderen Vorteile des Spanens liegen in der

- hohen Fertigungsgenauigkeit,
- hohen Reproduzierbarkeit der Qualität (Tabelle 4.1),

- nahezu geometrisch unbegrenzten Bearbeitungsmöglichkeit und
- hohen auftrags- und stückzahlbezogenen Fertigungsflexibilität.

Die Nachteile des Spanens sind vor allem im Materialverbrauch (Späneabfall), in der relativ geringeren Produktivität und in den Festigkeitseigenschaften (unterbrochener Faserverlauf) des Endproduktes zu sehen.

Allgemein gesagt, hat die spanabhebende Bearbeitung überall dort ihre Berechtigung, wo sie unter Berücksichtigung der genannten Faktoren vorteilhafter als die spanlose Formung anzuwenden ist. Daraus lassen sich die nachstehend genannten Einflussgrößen auf den Spanungsvorgang und somit auch auf die Werkstückqualität ableiten:

- Bearbeitungsverfahren
- Werkstück (Werkstoff, Festigkeit, Gefüge, Homogenität, Abmessungen, Gestalt, Stabilität)
- Werkzeug (Sorte, Anschliff, Verschleiß, Abmessungen, Steifigkeit)
- Werkzeugmaschine (Spannelemente, Steifigkeit und Schwingungsverhalten, Betriebszustand)
- Spanungsbedingungen (Schnittgeschwindigkeit, Schnitttiefe, Vorschub, Werkzeugwinkel, Kühlung, Schmierung)

Der Gesamtzusammenhang zwischen Einflussgrößen und Werkstückqualität ist im Bild 4.2 dargestellt. Die Werkstückqualität wird wesentlich vom System Werkzeugmaschine – Werkzeug – Werkstück bestimmt.

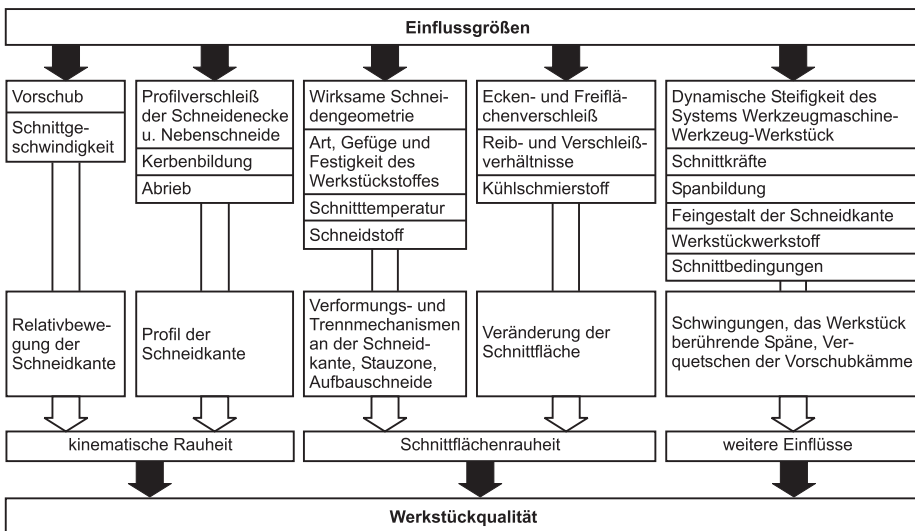


Bild 4.2: Einflussgrößen auf die entstehende Werkstückoberfläche bei der Metallzerspanung

Die Wettbewerbsfähigkeit der Zerspanungstechnik wird zukünftig vor allem durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Flexible Automatisierung der Werkstück- und Werkzeughandhabung
- Einstellbare Werkzeugsysteme zur Minimierung der Rüst- und Nebenzeit
- Hohe Standzeiten der Werkzeuge im HSC-(High Speed Cutting-)Bereich und in der Hartzerspannung durch verbesserte Schneidstoffeigenschaften

- Automatisierte Prozess- und Fertigungsmittelüberwachung
- Komplettbearbeitung in einer Aufspannung
- Kundengerechte Modularisierung der Fertigungsmittel durch Plattformstrategien
- Werkstattnahe und wissensbasierte Programmiertechnologien
- Minimierung des Kühl- und Schmiermittelverbrauchs bis zur Trockenbearbeitung

4.2.2 Grundlagen der spanenden Fertigung

In den folgenden Ausführungen soll auf die wesentlichsten verfahrensübergreifenden Grundlagen der spanenden Formung eingegangen werden. Sie sollen dazu dienen, die Verfahrenssystematik, -kinematik, -einflussgrößen und Verschleißgrößen im Zusammenhang zu sehen.

4.2.2.1 Klassifizierung im Überblick

Prinzipiell sind die Klassifizierungsmerkmale Automatisierungsgrad, Schneidengeometrie, Formelementengeometrie und Lage der Bearbeitungsstelle für die Verfahrenseinteilung und -auswahl entscheidend.

nach Automatisierungsgrad:

maschinell	manuell
automatisierter programmierter Ablauf	unbestimmte Relativbewegung Werkzeug – Werkstück

nach geometrischer Art der Schneide:

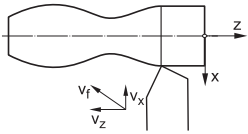
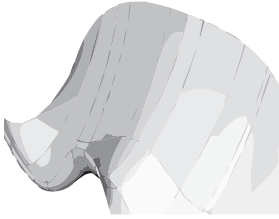
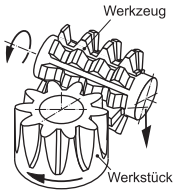
geometrisch bestimmte Schneide	geometrisch unbestimmte Schneide
Schneidenanzahl, Geometrie der Schneidkeile und Lage der Schneiden zum Werkstück sind bekannt (Drehen, Bohren, Fräsen)	Schleifen, Honen, Läppen

nach Art der zu erzeugenden Fläche (Formelement):

Tabelle 4.2: Einfache Grundkinematik

ebene Fläche		kreiszyllindrische Fläche
Plandrehen	Planfräsen	Runddrehen
Schraubflächen		Profilflächen
Abbilden mit Werkzeugprofil		Form implizit im Werkzeug
Schraubdrehen/Gewindestrehen		Profildrehen

Tabelle 4.3: Komplizierte Grundkinematik

Formflächen einfacher Art	Freiformflächen (3D)	Verzahnungsflächen
		
räumliche Steuerung der Vorschub- bzw. Schnittgeschwindigkeit beim Formdrehen	z. B. Hohlformen (Gesenke) 5-Achsbearbeitung beim Formfräsen	Werkstück und Werkzeug wälzen einander ab (Abwälzen) Fräser mit Bezugsprofil führt mit der Vorschubbewegung simultane Werkzeugbewegung aus. Wälzfräsen

4.2.2.2 Basisgrößen der Zerspantechnik

Die Zerspantechnologien zeichnen sich durch eine eindeutige Definition ihrer Basisgrößen aus. Im Bild 4.3 ist dazu ein Überblick gegeben. Die weiteren Erläuterungen dieser Größen erfolgt überwiegend am Beispiel des Drehens.

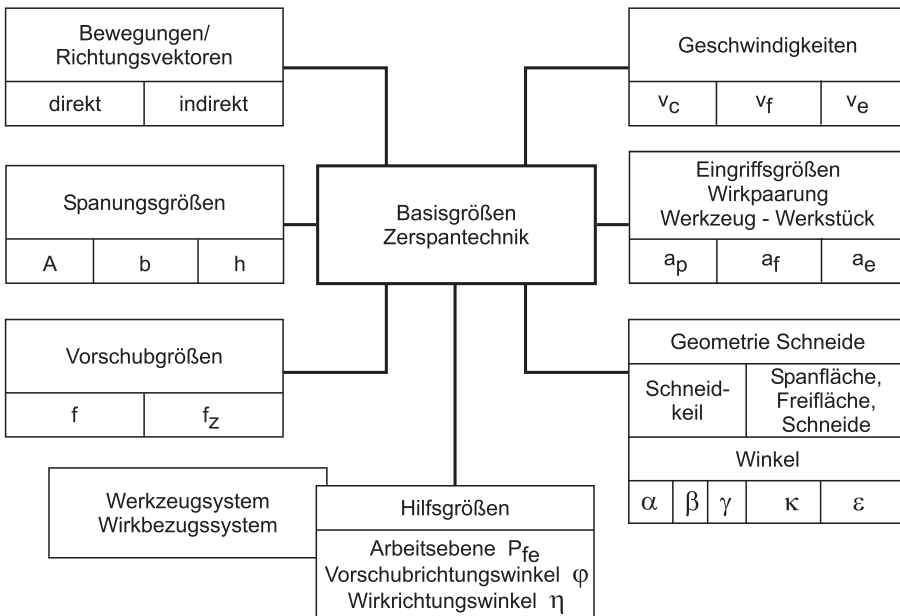


Bild 4.3: Basisgrößen der Zerspantechnik (Erläuterung der Basisgrößen S. 128–136)

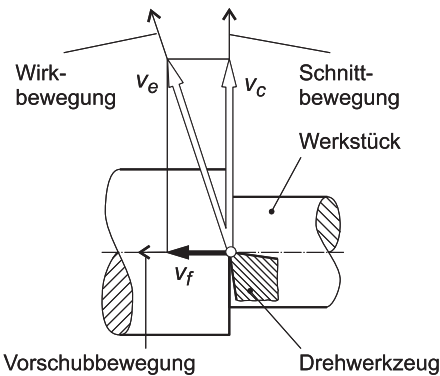
4.2.2.3 Bewegungsvorgänge und Geschwindigkeiten bei der Spanabnahme

Beim Spanen wird eine in der Ausgangsform eines Fertigteils bereits enthaltene End- bzw. Fertigform durch die mechanische Trennwirkung eines Schneidkeils erzeugt. Die Bewegungen beim Zerspanvorgang sind Relativbewegungen zwischen Werkzeugschneide und Werkstück. Die Bewegungen können gerade, kreisförmig oder beliebig sein. Es sind Bewegungen an der Wirkstelle, die durch die Werkzeugmaschine erzeugt werden.

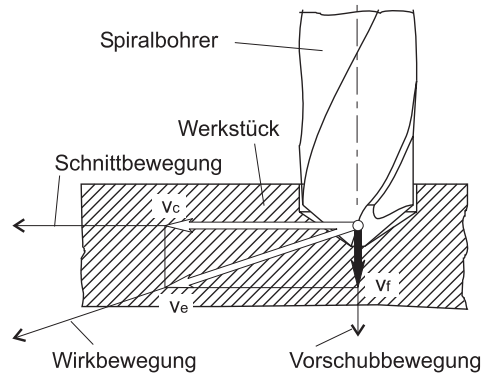
Im einzelnen sind dies folgende Bewegungsvorgänge:

- Bewegungen, die die Spanabnahme vorbereiten (Anstell-, Zustell-, Nachstell-, Rückstellbewegung)
- Bewegungen, die unmittelbar zur Spanabnahme führen (Schnitt-, Vorschub-, Wirkbewegung).

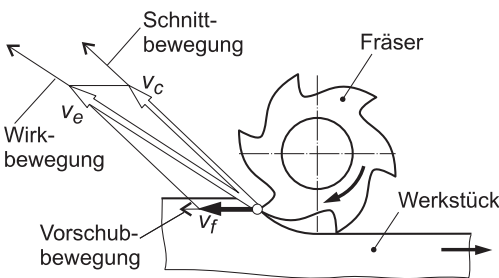
Die Späne entstehen durch die Wirkbewegung nach einer vorangegangenen Zustellbewegung. Die Bewegungsrichtungen sind dabei momentane Richtungen der Bewegungen im ausgewählten Schneidenpunkt (Bild 4.4).



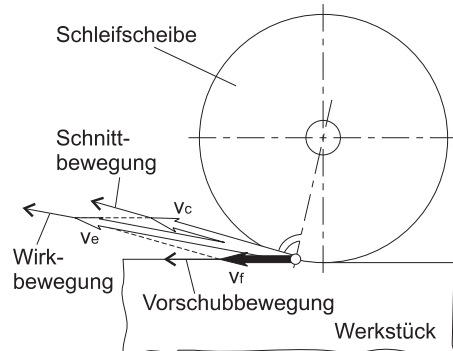
beim Drehen



beim Bohren



beim Gegenlaufräsen (Umfangsfräsen)



beim Umfangsschleifen

Bild 4.4: Bewegungen zwischen Werkzeugschneide und Werkstück (Richtungen der Schnitt-, Vorschub- und Wirkbewegungen)

Die Wirkbewegung ist die resultierende Bewegung aus Schnitt- und gleichzeitig ausgeführter Vorschubbewegung. Erfolgt keine gleichzeitige Vorschubbewegung (z. B. beim Stoßen), dann ist die

Schnittbewegung auch die Wirkbewegung. In diesem Zusammenhang sind folgende Geschwindigkeiten für den Spanungsvorgang von Bedeutung:

- Schnittgeschwindigkeit v_c
- Vorschubgeschwindigkeit v_f
- Wirkgeschwindigkeit v_e

Ist das Verhältnis v_f zu v_c sehr klein, so gilt die Annäherung: $v_e \approx v_c$. Weitere Informationen bezüglich der Bewegungen, Bewegungsrichtungen, Geschwindigkeiten, Wege sowie deren Komponenten sind der DIN 6580 zu entnehmen.

4.2.2.4 Hilfsgrößen (Bilder 4.5, 4.6, 4.7, 4.8)

Die einheitliche Betrachtung der verschiedenen spanenden Fertigungsverfahren erfordert die Einführung einiger Hilfsgrößen:

Vorschubrichtungswinkel φ

Der Vorschubrichtungswinkel ist der Winkel zwischen Vorschubrichtung und Schnittrichtung. Er kann konstant sein, z. B. beim Drehen $\varphi = 90^\circ$ oder sich während des Zerspanvorganges ständig ändern, wie z. B. beim Umfangsfräsen.

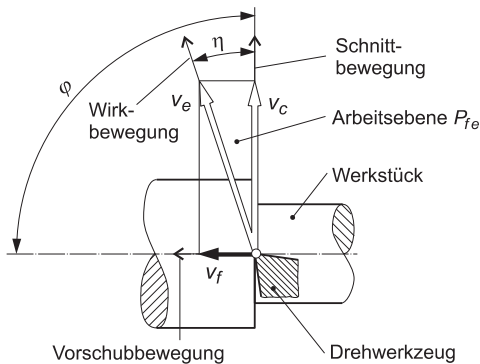


Bild 4.5: Arbeitsebene, Vorschub- und Wirkrichtungswinkel beim Drehen $\varphi = 90^\circ$

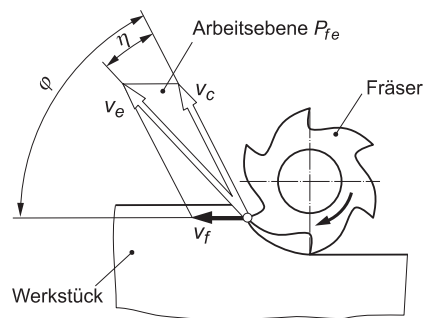


Bild 4.6: Arbeitsebene, Vorschub- und Wirkrichtungswinkel beim Gegenlaufräsen $\varphi < 90^\circ$ (Umfangsfräsen)

Wirkrichtungswinkel η

Der Wirkrichtungswinkel ist der Winkel zwischen Wirkrichtung und Schnittrichtung.

$$\tan \eta = \sin \varphi [(v_c/v_f) + \cos \varphi]$$

Arbeitsebene P_{fe}

Die Arbeitsebene (vgl. DIN 6581) ist eine gedachte Ebene, die die Schnittrichtung und die Vorschubrichtung im ausgewählten Schneidenpunkt enthält. In der Arbeitsebene vollziehen sich die Bewegungen, die an der Spanabnahme beteiligt sind.

Sachwortverzeichnis

- 3D-Drucken 328, 335
- 3D-Geometriemodellierung 323
- 3D-Plotter 333

- Abbrenn-Längenverlust 254
- Abbrennen 251
- Abbrennprozess 253
- Abbrennstumpfschweißen 213, 251f.
- Abbrennstumpfschweißen aus dem Kalten 251
- Abbrennstumpfschweißen mit Vorwärmen 251
- Abgraten 107
- Abkühlen 40
- Abkühlen/Abschrecken 304f.
- Abkühlungskurve 40
- Abkühlzeit 219
- Abrasivmittel 197
- Abrichten 175
- Abscheiden, chemisches 300
- Abscheiden, elektrolytisches 299
- Abschneiden 107
- Absetzen 89
- Abstreckdrücken 101, 113
- Abstreckziehen 112
- Abtragen 181
- Aggregatzustand 40
- Aktivgasgemische 232
- An- und Einpressen 212
- Anfahrblock 18
- Anfangsform 87
- Anisotropie 59f.
- Anlagentechnik zum Wärmebehandeln 318
- Anlassen 309
- Anlegieren 240
- Anstauchen 79, 85, 87, 89, 95
- Arbeitsebene 129
- Arbeitseingriff 132
- Arbeitsgang 343
- Arbeitshöchstgeschwindigkeiten 174
- Arbeitskontrolle 340
- Arbeitsplanung 339

- Arbeitsplatzstundenkosten 370
- Arbeitssteuerung 340
- Arbeitsstufe 343
- Arbeitstemperatur 262, 270
- Arbeitsvorbereitung 339
- Arbeitswerteermittlung 359
- Argon 229, 234
- Aufheizen 40
- Aufkohlungshärten 312, 319
- Aufschmelzquerschnitt 223
- Aufstickungshärten 312
- Auftraglöten 296
- Auftragschweißen 294
- Auftragschweißverfahren 295
- Auftragschweißwerkstoffe 295
- Aufweiten 103
- Ausbreitung 259
- Ausklinken 107
- Ausknicken 80
- Ausscheidung 304, 310, 316f.
- Ausschneiden 107
- Austenitformhärten 318
- Austenitisieren 304
- Auswuchten 175

- Bainit 310, 317
- Bainitisieren 310
- Banalelektrode 238
- Bauteil 17
- Beanspruchung 50
- Bearbeitungseigenschaften 301, 319
- Bearbeitungselemente 353
- Befüllkammer 35
- Belastungsverhalten 60
- Benetzen 260
- Benetzungswinkel 260
- Besanden 32
- Beschichten 211, 285
- Beschichtungsverfahren 286
- Beschneiden 86, 107
- Bestimmflächen 349
- Bewegungsabläufe, rotatorisch 254

- Bewegungsabläufe, translatorisch 254
 Bezeichnung 168
 BG-Glühen 308
 Biege-Umformen 55, 68
 Biegen 115
 Biegen, freies 89
 Biegerichten 116
 Biegeumformen 50, 77
 Bindungsarten 173
 Blechschneiden 108
 Blechumformung 50
 Blockgießen 18
 Bodendicke 282
 Bodenreißer 110
 Bohren 157
 Bohrungsdrücken 103
 Borieren 314
 Brazing alloy 269
 Breiten 73, 85
 Brinellhärte 45
 Buckel 248, 250
 Buckel, angeschoben 250
 Buckelelektroden 249
 Buckelform 250
 Buckelschweißeinrichtung 250
 Buckelschweißen 213, 248f.
 Buckelschweißmaschine 250
 Buckelschweißwerkzeuge 249
 Buckelschweißeinrichtung 250
 BY-Behandlung 316f.

 CAD-Systeme 58
 Carbonitrierhärten 312
 Chromieren 315
 CNC-Steuerung 188
 Computer 32
 Cr-Ni-Äquivalent 220
 Croning-Prozess 32
 CVD 298

 Dauerform 33
 Dauerkern 34
 Dauermodell 29, 337
 Dauerstrom 247
 Dauerwechselstrom 247
 Deformationsverhalten 60
 Dehnung 44
 Dichte 38

 Dichtnaht 247
 Dielektrikum 183, 190
 Diffusion 304, 312
 Digitalisieren 323
 Diodenlaser 205
 Direct Croning-Verfahren 32
 Direkthärten 313
 Dissoziation 259
 Dissoziationsvorgänge 224
 Doppelbuckelschweißen 248
 Doppelpunktschweißen 239
 Drahtflammspritzen 290
 Drahtführungseinrichtung 185
 Drahtspule 232
 Drahtvorschubgerät 232, 236
 Drehen 146
 Drehstromgleichrichter 225
 Drehverfahren 146
 Drehwerkzeuge 148
 Drosselspule 226
 Druck 34
 Druck-Umformen 54, 68
 Druck-Umformverfahren 113
 Druck-Zeit-Programm 254
 Druckgießmaschine 35
 Druckgießverfahren 34
 Druckmedium 115
 Druckübersetzer 195
 Druckumformen 50
 Drücken 102, 111
 Drückwalzen 101
 Durchdrücken 74, 86, 113
 Durchdrücktechnik 237
 Durchsetzen 89
 Durchsetzfügen 278f.
 Durchsetzfügeverbindung 280
 Durchsetzfügeverfahren, mehrstufig 279
 Durchziehen 76, 112

 Eigenschaft 40
 Eigenspannungen 304
 Eindrücken 96, 106
 Einimpulsschweißen 244
 Einphasen-Punktschweißeinrichtung 243
 Einphasengleichrichter 225
 Einprägen 95f.

- Einrichtungen zum
 - Abbrennstumpfschweißen 253
- Einrichtungen zum Buckelschweißen 250
- Einsatzhärten 312, 319
- Einsatzstoffe 39
- Einschneiden 108
- Einschnürdehnung 60
- Einsenken 95f.
- Einspannlänge 254
- Einzelbuckelschweißen 248
- Einzelkostenkalkulationsmethode 364
- Einzelpunktschweißen 239
- Elektrode, abschmelzende 230
- Elektrode, nicht abschmelzende 230
- Elektroden zum Buckelschweißen 249
- Elektroden, Standzeit 251
- Elektrodenabnutzung 246
- Elektrodenhalter 227
- Elektrodenkraft 242, 246, 248, 251
- Elektrodenumhüllung 227
- Elektrodenverschleiß 192, 240
- Elektrodenwerkstoff 242
- Elektrodenwerkstoffe 192
- Elementarzelle 58
- Elemente, technische 353
- Emaillieren 286
- Energie, kinetische 254
- Energiekosten 368
- Engen 112
- Entgraten 86
- Entladephase 183
- Entwicklung, historisch 51
- Erstarren 21
- Erwärmen 304f.
- Erwärmgeschwindigkeit 305
- Erwärmung, direkte 267
- Erwärmung, indirekte 267
- Eutektikum 41
- Excimerlaser 206
- Extrusionsverfahren 328, 333

- Faltenbildung 110
- Feingießen 337
- Feinschmieden 82
- Feinschneiden 109
- Feinstpunktschweißung 241
- Ferrit 308, 317

- Fertigung 46
- Fertigungsgenauigkeit 121f., 124
- Fertigungslohn 367
- Fertigungsprozess 343
- Fertigungsprozessgestaltung 319, 339
- Fertigungsvarianten 361
- Fertigungsverfahren 211
- Festkörperlaser 203
- Feuerfestigkeit 25
- Feuerverzinken 287
- Filteranlage 190
- Finishbearbeitung 327
- Flach-Längswalzen 70
- Flach-Querwalzen 72, 105
- Flach-Schrägwalzen 105
- Flächen, freie 348
- Flächeneinteilung 347
- Flächenklassifizierung 348
- Flächenkonstanz 117
- Flammfeldlöten 266
- Flammlöten 265
- Flammlöten, manuelles 266
- Fließbedingung 64
- Fließgesetz 63
- Fließkurve 65
- Fließpressen 87, 279
- Fließspannung 64f.
- Fließvermögen 41
- Flüssigkeitsstrahlen 192
- Flussmittel 262
- Flussmittellötung 261
- Folgeprozess 336
- Folgetechnik 336
- Folgeverfahren 327
- Folie 27
- Form 168
- Formändern 123
- Formänderungszustand 62
- Formen für den einmaligen Gebrauch 22
- Formen für den mehrmaligen Gebrauch 22
- Formfüllung 33
- Formfüllungsvermögen 41
- Formgießen 18
- Formhohlraum 41
- Formmaschine 25
- Formpressen 85f., 95
- Formrecken 88

- Formschluss 217
 Formstoffmischung 25
 Formteilquerwalzen 88
 Fräsen 150
 Fräserarten 155
 Fräsverfahren 151
 Freifläche 133
 Freiformen 72, 78
 Freiformschmieden 72, 81
 Freiwinkel 135
 Fremderwärmung 251
 Fügbarkeit 218, 281
 Fügen 211f., 216
 Fügen durch Löten 215
 Fügen durch Schweißen 213
 Fügen durch Umformen 212, 278f., 282
 Fügen durch Urformen 212
 Fügen, Wirkprinzipien 216
 Fügetechnik 211
 Führungssystem 195, 198
 Fülldruck, kapillar 260f.
 Füllen 212
 Füllmuster 326
 Fugenform 222
 Funkeneinzelentladung 183
 Funkenentladung 187
 Funkenerosion 182
 Funktionsflächen, spezielle 347
 Fused Deposition Modeling 333
 Fused Layer Modeling 333

 Gasblase 38
 Gasdüse 232
 Gasdurchlässigkeit 25
 Gase, aktiv 230, 232
 Gase, inert 229
 Gasentladung 224
 Gaslaser 204
 Gaslot 269
 Gasnitrieren 313
 Gasversorgung 232
 Gebrauchseigenschaften 301, 311, 318f.
 Gefüge 41, 58, 172
 Gegenlauffräsen 150
 Gegenstandsprinzip 346
 Genauigkeiten, erreichbare 53, 180

 Genauschmieden 86
 Generator 188
 Geregelt Abkühlen aus der Umformwärme 317
 Gesamtschweißstrom 249
 Gesamtwiderstand 239f.
 Geschwindigkeitsquotient 179
 Geschwindigkeitszustand 62
 Gesenkbiegen 116
 Gesenkformen 78, 84, 114
 Gesenkschmieden 84
 Gesenksicken 116
 Gesetz, HOOKEsches 60
 Gesetz, Joulesche 239, 245
 Gestaltänderungsenergie-Hypothese 64
 Gestalterzeugung, abformend 119
 Gestalterzeugung, kinematisch 119
 Gießsystem 21
 Gießtemperatur 41
 Gießverfahren 33
 GKZ-Glühen 307
 Gleichgewichtsbedingung 64, 68
 Gleichlauffräsen 150
 Gleichmaßdehnung 60
 Gleichrichter 225, 232
 Gleichstrom-Mittelfrequenz-Invertertechnik 243, 246
 Gleitziehen 76, 112
 Glühen auf kugeligen Zementit 307
 Granulat 17
 Graphit 44
 Grenzflächenvorgang 260
 Grenzziehverhältnis 110
 Grobkornglühen 308
 Grundflächen 347
 Grundstrom 233
 Gütewerte, mechanisch-technologische 219
 Gusseisenwerkstoffe 43
 Gussstück 39
 Gussteilgestaltung 45
 Gusswerkstoffe 39

 Härtegrade 172
 Härten 309
 Haftung 288
 Halbhohlните 282
 Halbwarmumformung 49

- Halbzeug 18
Halbzeugart 50
Halten 304f.
Handformerei 24
Handzange 280
Hartguss 44
Hartlöten 215, 262
Hartlot 269
Hauptformänderung 63
Hauptnormalspannung 62
Helium 229, 234
High-Deposition-Welding 233
Hilfsflächen 347
Hilfslichtbogen 236f.
Hinterschnitt 282, 284
Hobeln 160
Hochdruckpumpe 195
Hochfrequenzgenerator 236
Hochfrequenzzündimpuls 236
Hochgeschwindigkeitsflammspritzen 291
Hochleistungsverfahren 239
Hochtemperaturlöten 215, 263
Hochtemperaturlot 263, 269
Hohlprägen 114
Honen 179
HSC-Fräsen 154

Impulsgenerator 185
Impulslichtbogen 233
Inchromieren 315
Induktionslöten 266
Induktor, wassergekühlt 266
Injektorstrahl 195
Innenhochdruck-Umformen 115
Inverter 226
Ionisation 224

Kaltdraht-Heißdrahtschweißen 235
Kaltfließpressen 92
Kaltkammerdruckgießmaschine 35
Kaltpressschweißen 213, 254
Kaltschmieden 92, 95
Kaltumformen 279, 307, 310, 317
Kaltumformung 49
Kapillarspalten 260
Keil-Querwalzen 100
Keilwinkel 135
Kenngrößen 178

Kerbtiefe 199
Kerbwirkung 221
Kern 25
Kernbohren 159
Kernformstoffmischung 25
Kinematik 50
Klebbbarkeit 218
Kleben 29, 215, 273
Klebfestigkeit 274, 276
Klebfläche 276
Klebstoff 273, 275
Klebstoff, heißhärtend 276
Klebstoff, Verarbeitung 276
Klebstoffbestandteile 277
Klebstoffkomponente 277
Klebtechnik 273
Klebverbindung 273, 276
Klebverbindung, Gestaltung 276
Knabberschneiden 108
Körnung 170
Kohärenz 202
Kohäsion 273
Kohäsionskräfte 260
Kohlenstoff 44
Kohlenstoffäquivalent 219
Kokille 18
Kokillenwerkstoff 33
Kolbenlöten 263
Kontaktrohr 232
Kontaktwiderstand 239f., 248
Kontaktwiderstandserwärmung 267
Kontaktzündung 227
Kontrolleinrichtung 242
Korngröße 304, 308, 315
Kostenschema 363
Kraft-Stromprogramm 244
Krafteinleitungsvermögen 66
Kragenziehen 112
Kristallisator 20
Kristallstruktur, -gitter 58f.
Kriterien, nichtquantifizierbare 363
Krümmungsmittelpunkt 260
Kühlschmierstoffe 143
Kunstharz 29
Kurzlichtbogen 232f.

Lackieren 286

- Längenzugabe 253
 Längsnahtschweißmaschine 246
 Längswalzen 70
 Längswalzverfahren 98
 Läppen 180
 Lamine-Verfahren 328, 331
 Laminated Object Manufacturing 331
 Lampen-Masken-Verfahren 328
 Langbuckel 250
 Laser 32, 201
 Laser-Scanner-Verfahren 328
 Laser-Sintern 328, 330
 Laserbarren 205
 Laserstrahlschneiden 207
 Laserstrahlschweißen 208
 Laserstrahlung 201
 Lasertypen 202
 Layer Lamine Manufacturing 331
 Legierung, eutektische 270
 Legierungselement 44
 Leichtmetallguss 43
 Lichtbogen, rotierender 232f.
 Lichtbogenhandschweißen 214, 227
 Lichtbogenspritzen 291
 Lichtbogentechnik 224
 Lichtleitfasern 203
 Liquidustemperatur 263, 270
 Lochen 86, 107
 Lötbarkeit 218
 Löten 259
 Löten, partielles 267
 Löten, physik.-chem. Grundlagen 259
 LötKolben 263
 Löttemperatur 262
 Lötverbindungen, Gestaltung 271
 Lötverfahren 263
 Lötzeit 262
 Lot 269
 Lotbadoberfläche 265
 Lotbadtauchlöten 264
 Lotschmelzbad 264
 Lotschmelzbereich 262
 Lotwelle, schmelzflüssige 265
 Lunker 39

 MAG-Schweißverfahren 234
 Martensit 304, 309, 318

 Maschinen mit Sekundärgleichrichtern 251
 Maschinen mit Wanderrollen- und
 Dornschlittenarmaturen 246
 Maschinenauswahl 356
 Maschinenbau 20
 Maschinenformerei 25
 Maschinenstundenkosten 369
 Maskenformverfahren 29
 Massivschneiden 108
 Massivumformung 50
 Materialeinzelkosten 366
 Mechanisierungsgrad 229, 234f., 237
 Mehrimpulsanlage 241
 Mehrimpulsschweißen 244
 Mehrstofflegierung 270
 Mengenstruktur 343
 Metall-Aktivgasschweißen 214, 230
 Metall-Inertgasschweißen 214, 230
 Metall-Schutzgasschweißen 214, 230f.
 Metallcarbidbehandlung 315
 Methode der Finiten Elemente 58
 MIG-Schweißen 232
 MIG-Schweißverfahren 234
 Mikroplasma-schweißen 237
 Mikrostereolithografie 329
 Mindestscherzugkraft 245
 Minimalmengenschmierung 143
 Mischkristall 304, 312
 Mittelfrequenzanlagen 251
 Mittelzeitschweißbedingungen 245
 Model Maker 333
 Modell 25
 Modellplatte 25
 Molekül, polymerisationsfähiges 275
 Molekülvergrößerung 275
 Monochromasie 202
 MSG-Doppeldrahtschweißen 233
 MSG-Tandemschweißen 233
 Multi-Jet Modeling 333
 Multiphase Jet Solidification 333

 Nachpresszeit 239
 Nachschlagen 114
 Nachschneiden 109
 Nachwärmen 244
 Nebenzeiten 243
 Neigungswinkel 135

- Nibbeln 108
Niederdruckgießverfahren 37
Nietkopf 283
Nietverbindung 283
Nitrieren 311, 313
Nitrocarburieren 314
Normalglühen 308, 317
Normalisierendes Umformen 317
Normalspannung 61
- Oberflächenspannungen 262
Oberfläche, klebgerechte 277
Oberflächenaktivierung 261f.
Oberflächenbehandlung 273f.
Oberflächenqualitäten, erreichbare 167
Oberwerkzeug 249
Ofenformen 268
Ofenlöten 262, 268
Organisationsstruktur 345
Oxidbeseitigung 261
Oxidhaut 263
Oxinitrieren 313
- Pausenphase 183
Perlit 304, 307f., 317
Phasenänderung 304
Phasendiagramm 41
Pilgerwalzen 70
Planetärererosion 189
Planungsweise 351
Planungsweise, generierend 352
Planungsweise, projektierend 352
Plasmadüse 236
Plasmagas, inert 236
Plasmasäule 224, 236
Plasmaschweißanlage 236
Plasmaschweißbrenner 237
Plasmaschweißen 214, 236
Plasmaspritzen 292
Polymer 275
Polymerisation 328
Polystyrol 29
Post Processing 327
Präzisionsformverfahren 28
Präzisionsschmieden 86
Pressschweißen 213
Pressschweißverfahren 217
Produktdatenmanagement-Systeme 58
Produktentwicklung 56, 321
Profil-Längswalzen 70, 99, 104
Profil-Querwalzen 72, 100, 104
Profil-Schrägwalzen 100, 104
Profilquerwalzen 88
Projizierdrücken 101, 113
Prozessdetaillierung 353, 356
Prozesselemente 343
Prozessentwurf 352
Prozessgrobentwurf 354
Prozessphase 343
Prozessstufe 343
Prüfmittelauswahl 359
Pulsstrom 233
Pulverflammspritzen 290
Punktdurchmesser 245
Punktschweißen 213, 239
Punktschweißen, einseitiges 240
Punktschweißen, zweiseitiges 240
Punktschweißmaschine 267
Punktschweißelektroden 239
PVD 298
- Qualitätssicherung 277, 282, 284, 319
Quarzsand 25
Quasiisotropie 60
Quernahtschweißmaschine 246
Querwalzen 71
Querwalzverfahren 98
- Räumen 161
Räumnadel 162
Randschichthärten (thermisches) 309
Rapid Prototyping 32, 322
Rapid Prototyping-Bauprozess 326
Rapid Prototyping-Prozesskette 322
Rapid Prototyping-Verfahren 328
Rapid Tooling 336
Rapid-Melt 233
Recken 73, 89
Reckstauchen 88
Reckwalzen 88, 99
Reduzieren 96
Reiben 158
Reiberwärmung 254, 259
Reibschubspannung 67
Reibschweißen 213, 254, 256
Reibschweißen, kombiniertes 255

- Reibschweißmaschine 254f.
 Reibschweißverbindungen 257
 Reibung, mechanisch 254
 Reibungsarbeit 66
 Rekristallisationsglühen 308
 Restaustenit 307, 309f.
 Reversieren 251
 Ringbuckel 250
 Ringwalzen 100
 Riss 39
 Risse 310, 319
 Roboterzange 280
 Rohteilwahl 354
 Rollbiegen 116
 Rollenbreite 248
 Rollenelektrode 245
 Rollenelektrodenpaar 245
 Rollennahtschweißen 213, 245f.
 Rollennahtschweißen, Einrichtungen 246
 Rollenprofil 248
 Rollenwerkstoff 248
 Rotieren 37
 Rundbuckel 250
 Rundhämmern 82
 Rundkneten 73, 82

 Sandguß 337
 Scannen 323
 Schaeffler-Diagramm 220
 Scherkraft 37
 Scherschneiden 106
 Schiebung 62
 Schiebumformung 66
 Schlacke 228
 Schlackenschicht 238
 Schlauchpaket 232
 Schleifmittelarten 169
 Schleifverfahren 164
 Schleifwerkzeuge 168
 Schleudergießverfahren 37
 Schlichte 29
 Schließkopf 282
 Schmelze 35
 Schmelzloten 260
 Schmelzschweißbeignung 219
 Schmelzschweißen 214
 Schmelzschweißverfahren 217

 Schmelztauchen 287
 Schmelztemperatur 41
 Schmiedewalzen 99
 Schneiddraht 186
 Schneide 134
 Schneidenecke 134
 Schneiderodieranlage 185
 Schneiderodieren 182
 Schneidkeil 133
 Schneidkopf 195, 197
 Schneidkraft 110
 Schneidstoffe 140
 Schneidstoffeigenschaften 140
 Schneidteil 133
 Schnittfläche 109
 Schnittfuge 199
 Schnittleistung 199
 Schnitttiefe 131
 Schnittvorschub 131
 Schrägwalzen 70
 Schrägwalzverfahren 98
 Schub-Umformen 55
 Schubfließspannung 67
 Schubspannung 61
 Schubspannungs-Hypothese 64
 Schubumformen 50
 Schutzgasatmosphäre 262f.
 Schutzgase 229
 Schutzgase, inert 231, 263
 Schutzgase, reduzierende 262
 Schutzgasofenloten 268
 Schutzgasschweißen 214, 229f.
 Schutzgasschweißverfahren 229f.
 Schutzgaswirkung 251
 Schwallloten 265
 Schwalllötmaschine 265
 Schweiß-ZTU-Diagramm 219
 Schweißbarkeit 218, 280
 Schweißbeignung 218ff.
 Schweißeinrichtungen mit
 Kondensatorentladung 243
 Schweißen durch Bewegungsenergie 254
 Schweißen, manuell 235
 Schweißen, vollmechanisch 235
 Schweißkaverne 238
 Schweißlichtbogen 224
 Schweißmöglichkeit 218, 221

- Schweißpulver 238
Schweißpunkteinrichtung 242
Schweißsicherheit 218, 221
Schweißstromquellen 225
Schweißverfahrensgruppen 217
Schweißwulst 257
Schweißzangen 242
Schweißsicherheit 220
Schwerkraft 33
Schwerkraftkokillengießverfahren 34
Schwermetallguss 43
Schwindmaß 41
Schwindung 42
Schwungradantrieb 254
Seigerung 40
Sekundärkühlung 20
Selektives Laser-Sintern 330
Senken 158
Senkerodieranlage 186
Senkerodieren 182
Servoregelung 187
Setzen 79
Sicherheitsanforderungen 174
Silkongießen 336
Simulation 57
Sintern 330
SLICE-Prozess 322
Soldering alloy 269
Solid Ground Curing 328
Solidustemperatur 270
Spanarten 139
Spanbarkeit 301, 308
Spanbildung 138
Spanen 124
Spanfläche 133
Spanformen 140
Spanmittelauswahl 357
Spannungs-Dehnungs-Diagramm 60
Spannungs-Formänderungs-Beziehung 63
Spannungs-Hauptachsensystem 61
Spannungs-Tensor 61
Spannungsarmglühen 307
Spannungsmittelwert 61
Spannungsverteilung 48
Spannungszustand 61
Spannungsquerschnitt 132
Spanwinkel 135
Speiser 42
Sprengschweißen 254
Spritzguss 336
Spritzprozess 288
Spritzschicht 288
Spritzwerkstoff 292
Sprühlichtbogen 232f.
Spülvorgang 191
Stabelektrode 227
Stahlgusswerkstoffe 73
Standzeit 138
Stanzniete 282
Stanznieten 278, 282
Stanznietverbindung 284
Stauch-Längenverlust 254
Stauchung 73, 78f., 85, 87, 89
Stauchgrat 253
Steigen 85
Steigrohr 37
Stempel 279
Stempelkontur 282
Stereolithografie 328
Stichlochtechnik 237
STL-Schnittstelle 324
Stoffeigenschaftsändern 304
Stoffschluss 217
Stoffwiderstand 239f., 248
Stoffzusammenhaltvermindern 123
Stopfenwalzen 70
Stoßen 160
Strahlfänger 195, 198
Stranggießen 18
Strangpressen 74
Stratified Object Manufacturing 332
Streckenenergie 220
Streckgrenze 60
Streckziehen 114
Strom-Kraft-Programm 251
Strompause 248
Stromprogramm 244
Stromtaktprogramm 247f.
Stromverlauf, impulsförmig 226
Stromzeit 243, 248
Stülpziehen 111
Stützkonstruktion 326
Stumpf- und T-Stoß 222
Stundenkostenkalkulationsmethode 369

- Sublimation 259, 263
 Sulfonitrieren 314
 Suspensionsstrahl 195

 T.I.M.E. 233
 Temperatur 40
 Temperatur-Zeit-Ablauf 305, 311, 315
 Temperatureinsatzgrenze 275
 Temperaturfelder 223
 Temperaturgeregeltes Walzen 317
 Temperaturverteilung 36
 Textur 60
 Thermische Behandlung/Verfahren 304f.
 Thermo-Jet 333
 Thermochemische Behandlung/Verfahren 311f.
 Thermomechanische Behandlung/Verfahren 315f.
 Thermomechanisches Umformen 317
 Thixogießverfahren 36
 Three Dimensional Printing 335
 Thyristor 226
 Tiefen 114
 Tieflochbohren 159
 Tiefziehen 110
 Tiegelofen 35
 Tisch-Rollenschweißmaschine 246
 Ton 25
 Topologie 47
 Transduktor 226
 Transformator 225, 242
 Transistor 226
 Transistor-Kaskaden 226
 Trennen 52, 123, 211
 Trockenbearbeitung 143

 Überdeckungsgrad 177
 Überlappungsprinzip 276
 Ultraschallschweißen 213, 254
 Umform- und Zerteiltechnik, Besonderheiten und Entwicklungstrends 55
 Umform- und Zerteiltechnik, Einsatzgebiete 54
 Umformarbeit 66
 Umformbarkeit 58
 Umformen 52, 211
 Umformen, Definition 49
 Umformen, Einordnungsgesichtspunkte 49

 Umformer 225
 Umformfestigkeit 64
 Umformgeschwindigkeit 62, 65
 Umformgrad 62
 Umformkraft 66
 Umformmechanismen 59
 Umformtemperatur 49, 65
 Umformvermögen 66, 80
 Umformwirkungsgrad 67
 Umformzone 49
 Umhüllung 228f.
 Umrichter 226
 Umrichter, primär getaktet 226
 Umrichter, sekundär getaktet 227
 Universalwerkstatt 346
 Unterdruck 26
 Unterpulverschweißen 214, 238
 Urformen 17, 211
 Urformwerkzeug 21

 Vakuumformverfahren 26
 Vakuumgießen 336
 Vakuumofenlötten 268
 Variantenvergleich, technologischer 353
 Verarbeitungseigenschaften 301, 319
 Verbindungsarten 217
 Verfestigungsexponent 65
 Vergleichsspannung 64
 Vergleichsumformgeschwindigkeit 66
 Vergleichsumformgrad 65
 Vergüten 310
 Vergüten aus der Umformwärme 317
 Verjüngen 95f., 113
 Verlorene Form 337
 Verlorene Modelle 337
 Verlustwärme 239
 Verlustwärmemenge 239
 Vermischungsgrad 295
 Verschleißfestigkeit 34
 Verschleißquotient 179
 Verzug 307, 309
 Vibration 30
 Vielbuckelschweißen 248
 Vielpunktschweißen 239
 Viskosität 37
 Vollformverfahren 29
 Vollhohlriete 282

- Volumendefizit 42
Volumenerwärmung 305
Volumenkonstanz 63, 117
Vorschub 130
Vorschubrichtungswinkel 129
Vorwärm-Längenverlust 254
Vorwärmen 220, 244
- Wachsausschmelzverfahren 28
Wärmeübertragung 305
Wärmebehandeln 224
Wärmebehandeln, Wärmebehandlung 301ff.
Wärmebehandlung 44
Wärmebilanz 240
Wärmeeintrag 223
Walzbiegen 77
Walzen 70
Walzprofilieren 78
Walzrichten 77
Walzrunden 116
Walzziehen 76, 112
Wanddicke 41
Warmkammerdruckgießmaschine 35
Warmpressen 84
Warmumformung 50
Wasserabrasivstrahlschneiden 194
Wasserstrahlschneidanlage 195
Wasserstrahlschneiden 195
Wechselrichter 226
Wechselstrommaschinen 251
Weichglühen 307
Weichlöten 215, 262
Weichlot 269
Weichlot, eutektisch 270
Weiten 112, 115
Wellenlöten 265
Werkstattprinzip 346
Werkstoffausnutzungsgrad 301
Werkstoffauswahl 46
Werkzeug-Bezugssystem 134
Werkzeugauswahl 358
Werkzeuge der Umform- und
 Schneidtechnik 119
Werkzeugverschleiß 137
Widerstandserwärmung 239, 267
Widerstandslöten 267
Widerstandspressschweißen 239
Widerstandsschweißen 213
Widerstandsschweißtransformator 242
WIG-Schweißen 234f.
WIG-Schweißverfahren 234
Wirbelsintern 296
Wirkmedium 111
Wirkrichtungswinkel 129
Wirktemperaturbereich 262
Wirkvorschub 131
Wirkwärmemenge 239, 241
Wolfram-Inertgas-Schweißen 230, 234
Wolfram-Plasmaschweißen 230
Wolfram-Schutzgasschweißen 214, 230
Wolfram-Wasserstoffschweißen 230
Wolframelektrode 234, 236
Wolframelektrode, nicht abschmelzend 234,
 236
- Zahnvorschub 130
Zeitermittlung 359f.
Zeitsteuerung 243
Zentrifugalkraft 33
Zerschneiden 107
Zerspankraft 144
Zerteilen 52, 123
Zerteilverfahren 106
Zinskosten 367
Zündphase 183
Zug-Druck-Umformen 55, 68
Zug-Umformen 55
Zugdruckumformen 50, 110ff.
Zugfestigkeit 45, 60
Zugumformen 50, 114f.
Zusammensetzen 212
Zusammensetzung 36, 169
Zuschlagskalkulationsmethode 363
Zweistofflegierung 270
Zwischenform 68
Zwischenformen 88
Zwischenstufenvergüten 310