



Leseprobe

Grundlagen der Fertigungstechnik

Herausgegeben von Birgit Awiszus, Jürgen Bast, Holger Dürr,
Klaus-Jürgen Matthes

ISBN (Buch): 978-3-446-44821-6

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44821-6>

sowie im Buchhandel.

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 Neben-	104
3.5.5.3	Verfahrensübersicht Walzverfahren zur Feinbearbeitung von	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 Erzeu-	110
	gung bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile	
3.6.2.2	Verfahrensübersicht Druck-Umformverfahren zur Erzeugung	113
	bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile	
3.6.2.3	Verfahrensübersicht Zug-Umformverfahren zur Erzeugung bzw.	114
	Veränderung räumlicher Blechformteile	
3.6.2.4	Verfahrensübersicht Biege-Umformverfahren zur Erzeugung	115
	bzw. Veränderung räumlicher Blechformteile	
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 Spanab-	128
	nahme	
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	133
	Schneide	
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-Einstechschleifen	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	Abbrennstumpfschweißen (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*

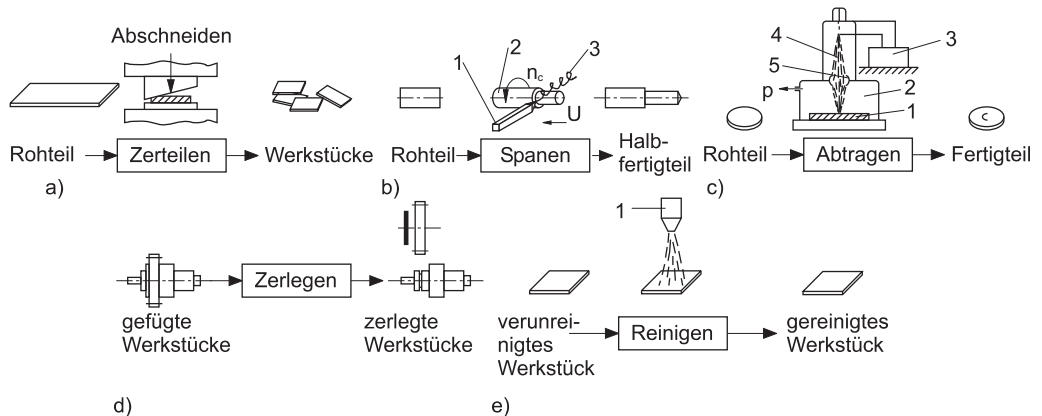
Dr. rer. nat. R. Pilz (*TU Chemnitz, Professur für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik*)

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.

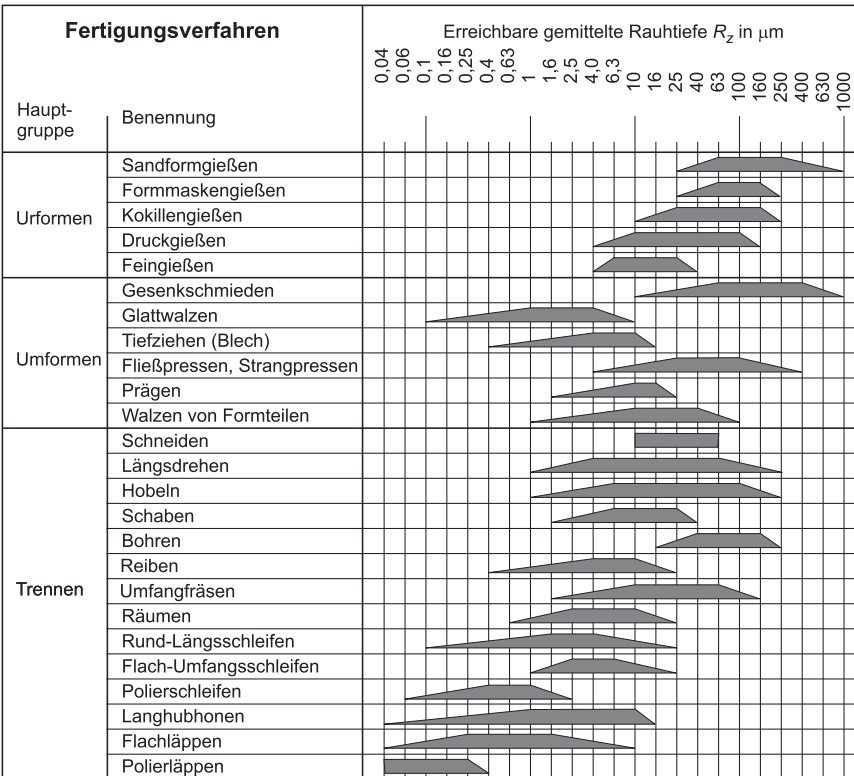
4.2 Trennen durch Spanen

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.

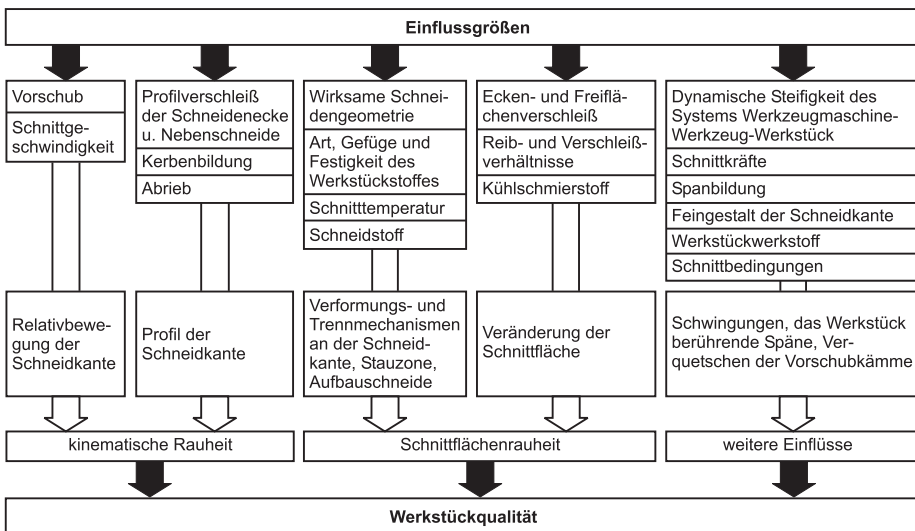


Bild 4.2: Einflussgrößen auf die entstehende Werkstückoberfläche bei der Metallzerspanung

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 Programmietechnologien
- 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 Schnitten zum Werkstück sind bekannt (Drehen, Bohren, Fräsen)	Schleifen, Honen, Läppen

nach Art der zu erzeugenden Fläche (Formelement):

Tabelle 4.2: Einfache Grundkinematik

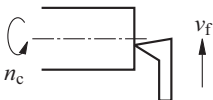
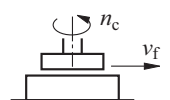
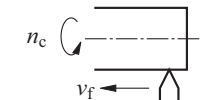
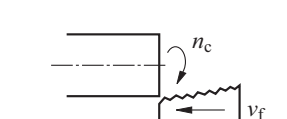
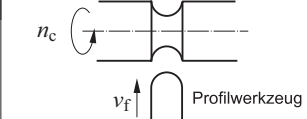
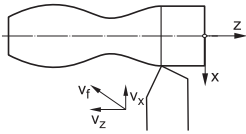
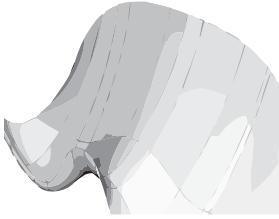
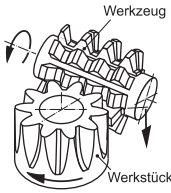
ebene Fläche		kreiszyindrische Fläche
		
Plandrehen	Planfräsen	Runddrehen
Schraubflächen		Profilflächen
Abbilden mit Werkzeugprofil		Form implizit im Werkzeug
		
Schraubdrehen/Gewindestrehen		Profildrehen

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.

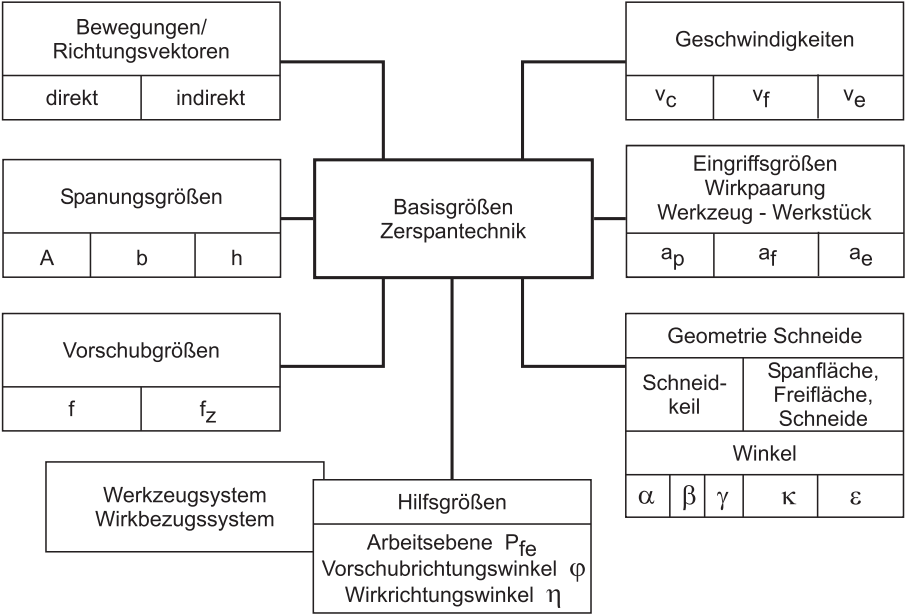


Bild 4.3: Basisgrößen der Zerspantechnik (Erläuterung der Basisgrößen S. 128–136)

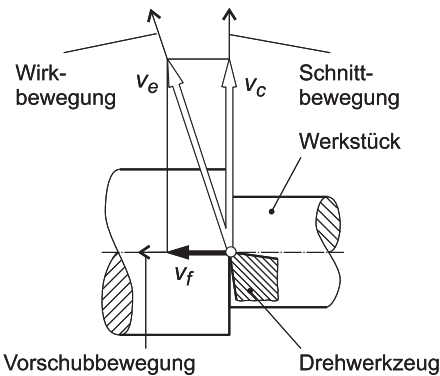
4.2.2.3 Bewegungsvorgänge und Geschwindigkeiten bei der Spanabnahme

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.

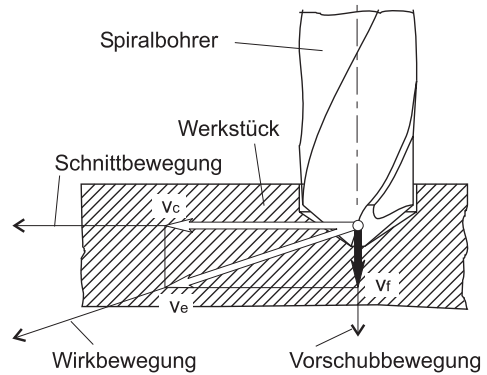
Im einzelnen sind dies folgende Bewegungsvorgänge:

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

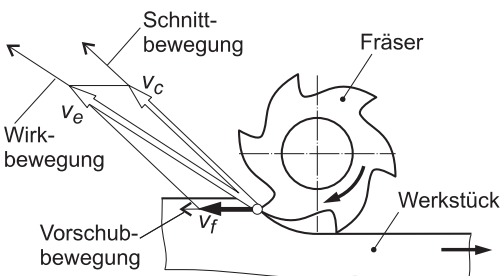
Die Späne entstehen durch die Wirkbewegung nach einer vorangegangenen Zustellbewegung. Die Bewegungsrichtungen sind dabei momentane Richtungen der Bewegungen im ausgewählten Schnittpunkt (Bild 4.4).



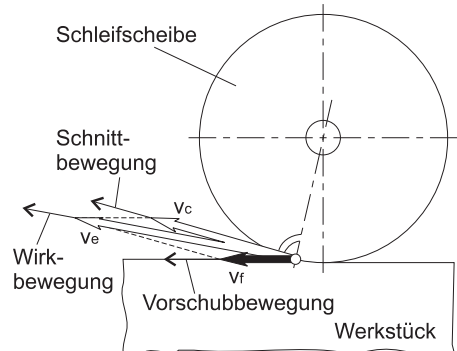
beim Drehen



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 Schnitttrichtung. Er kann konstant sein, z. B. beim Drehen $\varphi = 90^\circ$ oder sich während des Zerspanvorganges ständig ändern, wie z. B. beim Umfangsfräsen.

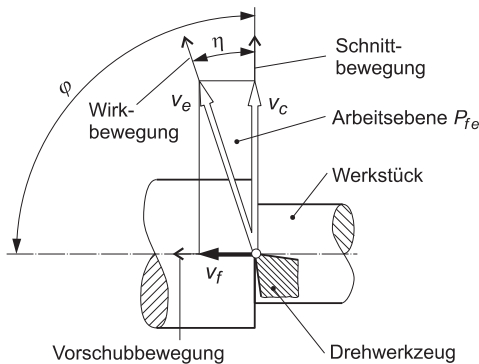


Bild 4.5: Arbeitsebene, Vorschub- und Wirkrichtungswinkel beim Drehen $\varphi = 90^\circ$

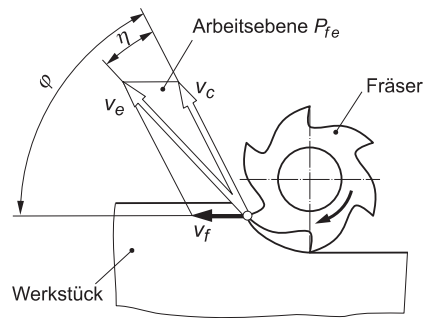


Bild 4.6: Arbeitsebene, Vorschub- und Wirkrichtungswinkel beim Gegenlaufräsen $\varphi < 90^\circ$ (Umfangsfräsen)

Wirkrichtungswinkel η

Der Wirkrichtungswinkel ist der Winkel zwischen Wirkrichtung und Schnitttrichtung.

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

Arbeitsebene P_{fe}

Die Arbeitsebene (vgl. DIN 6581) ist eine gedachte Ebene, die die Schnitttrichtung 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
Blechschnitten 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
Durchdrucktechnik 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
- Fügbarekeit 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
- Gegenlaufräsen 150
- Gegenstandsprinzip 346
- Genauigkeiten, erreichbare 53, 180

- Genaus Schmieden 86
- Generator 188
- Geregeltes 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
- Gleichlaufräsen 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
- Gütwerte, 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
Klebbarkeit 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
Laminate-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 Laminate 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
Schiebungsarbeit 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
Silikongießen 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
Spannmittelauswahl 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 43
Standzeit 138
Stanzniete 282
Stanznieten 278, 282
Stanznietverbindung 284
Stauch-Längenverlust 254
Stauchern 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
Stülziehen 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
- Vakuumofenlöten 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
- Vollhohlните 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