

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	Spannungsvorgang	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	Spannungsvorgang	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	Spannungsvorgang	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	Rollenahtschweißen (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 Rollenahtschweißen	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	Abbreinstumpfschweißen (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 – adhesives 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	Prozessfeinentwurf	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