

Taschenbuch der Fertigungstechnik

herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. habil. Gerd Witt

Mit zahlreichen Bildern und Tabellen

FACHBUCHVERLAG LEIPZIG
im Carl Hanser Verlag

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	.15	
2	Urformen	.19	
2.1	Urformen durch Gießen	.19	
2.1.1	Formherstellungs- und Gießverfahren	24	
2.1.1.1	Gussteilfertigung mit verlorenen Formen	25	
2.1.1.2	Gussteilfertigung mit Dauerformen	37	
2.1.2	Schmelztechnik	47	
2.1.3	Gestaltung von Gussteilen	51	
2.2	Urformen durch pulvermetallurgische Verfahren	54	
3	Umformen	.57	
3.1	Grundlagen der Umformtechnik	57	
3.2	Druckumformen	67	
3.2.1	Walzen	68	
3.2.2	Freiformen	79	
3.2.3	Gesenkformen	82	
3.2.4	Durchdrücken	86	
3.2.5	Eindrücken	89	
3.3	Zugdruckumformen	89	
3.3.1	Durchziehen	90	
3.3.2	Tiefziehen	94	
3.3.3	Drücken	96	
3.3.4	Weitere Zugdruckumformverfahren	97	
3.4	Zugumformen	97	
3.5	Biegeumformen	98	
3.6	Schubumformen	101	
4	Trennen	.103	
4.1	Systematisierung	103	
4.2	Trennen durch Spanen	103	
4.2.1	Wirtschaftliche Bedeutung	103	
4.2.2	Grundlagen der spanenden Fertigung	106	
4.2.2.1	Klassifizierung im Überblick	106	
4.2.2.2	Basisgrößen der Zerspan- technik	107	
4.2.2.3	Bewegungsvorgänge und Geschwindigkeiten bei der Spanabnahme	107	
jÄ	4.2.2.4	Flächen und Vorschubgrößen	109

	4.2.2.5	Spanungsgrößen. . . . .	.109
	4.2.2.6	Werkzeuggeometrie für das Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide. . . . .	.111
	4.2.2.7	Werkzeugverschleiß/Stand- begriffe und Spanbildung	113
	4.2.2.8	Schneidstoffe (geometrisch bestimmte Schneide). . . . .	.116
	4.2.2.9	Kühlschmierstoffe. . . . .	.119
4.3		Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide	120
	4.3.1	Drehen. . . . .	.120
	4.3.1.1	Spanungsvorgang. . . . .	.120
	4.3.1.2	Drehverfahren. . . . .	.121
	4.3.1.3	Drehwerkzeuge. . . . .	.123'
	4.3.2	Fräsen. . . . .	.124
	4.3.2.1	Spanungsvorgang. . . . .	.124
	4.3.2.2	Fräsverfahren. . . . .	.124
	4.3.2.3	Fräswerkzeuge. . . . .	.129
	4.3.3	Bohren, Senken, Reiben. . . . .	.130
	4.3.3.1	Spanungsvorgang. . . . .	.130
	4.3.3.2	Verfahren. . . . .	.130
	4.3.3.3	Werkzeuge. . . . .	.130
	4.3.4	Hobeln und Stoßen. . . . .	.131
	4.3.5	Räumen. . . . .	.132
	4.3.5.1	Räumverfahren. . . . .	.132
	4.3.5.2	Räumwerkzeuge. . . . .	.133
4.4		Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide	133
	4.4.1	Schleifen. . . . .	.133
	4.4.1.1	Spanungsvorgang und Grund- begriffe. . . . .	.133
	4.4.1.2	Schleifverfahren. . . . .	.134
	4.4.1.3	Schleifwerkzeuge. . . . .	.136
	4.4.1.4	Schleifscheibenvorbereitung . . . . .	.142
	4.4.2	Honen und Läppen. . . . .	.143
4.5		Trennen durch Abtragen. . . . .	.144
	4.5.1	Verfahren der Funkenerosion. . . . .	.145
	4.5.1.1	Funkenerosives Schneiden . . . . .	.147
	4.5.1.2	Funkenerosives Senken. . . . .	.148
	4.5.2	Wasserstrahl-Bearbeitungsverfahren . . . . .	.153
	4.5.2.1	Strahlarten. . . . .	.153
	4.5.2.2	Wasserabrasivstrahlschneiden . . . . .	.155
	4.5.2.3	Anwendungsgebiete. . . . .	.158
	4.5.3	Laserstrahl-Bearbeitungsverfahren . . . . .	.159
	4.5.3.1	Lasertypen zur Material- bearbeitung. . . . .	.159
	4.5.3.2	Laserstrahlschneiden. . . . .	.161

Fügen durch Stoffschluss		.166
5.1	Schweißen	.166
5.1.1	Grundbegriffe	.166
5.1.2	Gasschmelzschweißen	.167
5.1.2.1	Gase	.168
5.1.2.2	Flamme	.169
5.1.2.3	Arbeitsverfahren	.172
5.1.2.4	Anwendung	.173
5.1.3	Lichtbogenschmelzschweißen	.173
5.1.3.1	Lichtbogenhandschweißen	.173
5.1.3.2	WIG-Schweißen (Wolfram-Inertgasschweißen)	.180
5.1.3.3	Plasmaschweißen	.183
5.1.3.4	MIG/MAG-Schweißen (Metall-Inertgasschweißen/Metall-Aktivgasschweißen)	.185
5.1.3.5	Unterpulverschweißen (UP-Schweißen)	.189
5.1.4	Strahlschweißen	.193
5.1.4.1	Laserstrahlschweißen	.194
5.1.4.2	Elektronenstrahlschweißen (EB)	.195
5.1.5	Gießschmelzschweißen	.197
5.1.6	Widerstandspressschweißen	.198
5.1.6.1	Punktschweißen	.198
5.1.6.2	Rollennahtschweißen	.201
5.1.6.3	Widerstandsbuckelschweißen (RB)	.202
5.1.6.4	Stumpfschweißen	.203
5.1.7	Gaspressschweißen	.204
5.1.8	Reibschweißen	.205
5.1.9	Lichtbogenpressschweißen	.206
5.1.10	Lichtbogenbolzenschweißen	.206
5.1.11	Diffusionsschweißen	.207
5.1.12	Kaltpressschweißen	.208
5.2	Löten	.209
5.2.1	Grundbegriffe	.209
5.2.2	Löttechnologie	.213
5.2.3	Gestaltung der Lötverbindung	.215
5.3	Thermische und thermomechanische Beschichtungsverfahren	.216
5.3.1	Oberflächenbeschichtungsverfahren	.217
5.3.2	Auftragschweißen	.217
5.3.3	Thermisches Spritzen	.219
5.3.3.1	Verfahrensprinzip	.220
5.3.3.2	Spritzzusatzwerkstoffe	.222
5.3.3.3	Flammspritzen mit Draht	.222

	5.3.3.4	Flammspritzen mit Pulver	222
	5.3.3.5	Kunststoff-Flammspritzen	223
	5.3.3.6	Hochgeschwindigkeits-Flamm- spritzen.	224
	5.3.3.7	Detonationsspritzen (D-Gun- Spritzen).	224
	5.3.3.8	Lichtbogenspritzen	225
	5.3.3.9	Plasmaspritzen.	226
	5.3.3.10	Laserspritzen.	227
	5.3.3.11	Drahtexplosionsspritzen.	227
6		Kunststoffe in der Fertigungstechnik	230
6.1		Technische und wirtschaftliche Bedeutung der Kunststoffe.	230
6.2		Technologie der Kunststoffe.	232
	6.2.1	Polymerisation.	232
	6.2.1.1	Additionspolymerisation als Kettenreaktion (APK).	234
	6.2.1.2	Additionspolymerisation als Stufenreaktion (APS).	234
	6.2.1.3	Kondensationspolymerisation (KP).	234
	6.2.2	Einteilung der Kunststoffe.	235
	6.2.2.1	Thermoplaste.	236
	6.2.2.2	Elastomere.	239
	6.2.2.3	Duroplaste.	240
6.3		Überblick zur Kunststoffverarbeitung.	242
	6.3.1	Kunststoff-Urformen.	244
	6.3.1.1	Urformen von Thermoplasten	245
	6.3.1.2	Urformen von Duroplasten	245
	6.3.1.3	Urformen von Elastomeren	245
	6.3.2	Das Kunststoff-Umformen.	246
	6.3.2.1	Umformverfahren.	246
	6.3.2.2	Kunststoff-Beschichten.	248
6.4		Stück- und Fließprozesse.	249
	6.4.1	Extrudieren.	250
	6.4.1.1	Geeignete Kunststoffformmassen	250
	6.4.1.2	Extruder.	251
	6.4.1.3	Arbeitsprinzip des Extruders	254
	6.4.1.4	Extrusionswerkzeuge.	254
	6.4.1.5	Koextrusion.	255
	6.4.2	Kalandrieren.	256
	6.4.2.1	Geeignete Kunststoffmassen	256
	6.4.2.2	Kalander Ausführungen.	257
	6.4.2.3	Anlage und Prozess.	257
	6.4.3	Injektionsformen	259

	6.4.3.1	Geeignete Kunststoffmassen	261
	6.4.3.2	Verfahren.	261
	6.4.3.3	Abgrenzung gegenüber dem Standardspritzguss.	264
6.4.4		Rotationsgießen.	265
	6.4.4.1	Geeignete Kunststoffmassen	266
	6.4.4.2	Prozess.	266
6.4.5		Extrusionsblasformen.	268
6.4.6		Kompressionsformen.	269
	6.4.6.1	Geeignete Kunststoffmassen	270
	6.4.6.2	Verfahren.	270
6.4.7		Spritzpressen/Transferpressen.	271
6.4.8		Umformverfahren.	272
	6.4.8.1	Geeignete Kunststoffmassen	273
	6.4.8.2	Kaltumformen.	274
	6.4.8.3	Warm-/Thermoformen.	274
	6.4.8.4	Verfahren.	275
6.5		Fertigung von Faserverbundbauteilen.	276
	6.5.1	Ausgangswerkstoffe.	276
	6.5.2	Gewebe- und Bindungsarten.	278
	6.5.3	Herstellverfahren.	279
	6.5.3.1	Preformverfahren.	280
	6.5.3.2	Handlaminieren.	282
	6.5.3.3	Faser-Harz-Spritzverfahren	283
	6.5.3.4	Prepreg-Niederdruckautoklavverfahren.	283
	6.5.3.5	Resin Transfer Moulding-Verfahren (RTM).	286
	6.5.3.6	Vakuuminjektionsverfahren	289
	6.5.3.7	Pressverfahren.	289
	6.5.3.8	Fiber Placement-Verfahren/Ablegeverfahren.	292
	6.5.3.9	Schleuderverfahren.	293
	6.5.3.10	Fertigungsverfahren für endlosfaserverstärkte Bauteile.	293
7		Generative Fertigungsverfahren	297
	7.1	Stereolithographie.	300
	7.1.1	EnvisionTec.	301
	7.1.2	3D Systems.	302
	7.1.3	Objet.	303
	7.1.4	MicroTec.	305
	7.2	Lasersintern.	305
	7.2.1	Selektives Lasersintern - 3D Systems	307
	7.2.2	Lasersintern - EOS.	309
	7.2.3	Selective Laser Melting - MCP.	311

7.2.4	Laser Cusing - Concept Laser GmbH	312
7.3	Layer Laminate Manufacturing	313
7.3.1	LOM-Cubic.	313
7.3.2	Paper Lamination Technology - KIRA	315
7.3.3	Zippy - Kinergy.	316
7.4	Fused Layer Modeling.	317
7.4.1	Fused Deposition Modeling - Stratasys	317
7.4.2	Multi-Jet Modeling - 3D Systems.	319
7.4.3	ModelMaker II-Sanders.	319
7.5	3D-Printing.	320
7.5.1	Z-Corp.	320
7.5.2	Generis.	322
7.5.3	Direct Shell Production Casting - Soligen	323
7.5.4	Extrude Hone.	324
7.6	Electron Beam Melting - ARCAM.	324
7.7	RP-gerechte Gestaltung.	325
7.8	Zusammenfassung und Ausblick	326
8	Industrieroboter.	328
8.1	Einführung.	328
8.2	Aufgabenfelder.	332
8.3	Aufbau und Bestandteile von Industrierobotern	333
8.3.1	Aufbau.	334
8.3.2	Kinematiktypen.	335
8.3.3	Antriebe.	337
8.3.4	Wegmesssysteme.	339
8.3.5	Endeffektoren.	341
8.3.6	Werkstückbereitstellung.	344
8.3.7	Sensoren.	346
8.3.8	Steuerung.	347
8.3.9	Programmierung.	352
8.3.10	Sicherheitsaspekte.	355
8.4	Beispielhafte Lösungen.	356
8.4.1	Werkzeughandhabung.	356
8.4.1.1	Beschichten.	357
8.4.1.2	Klebe- und Dichtmittelauftrag	357
8.4.1.3	Punktschweißen.	358
8.4.1.4	Lichtbogenschweißen.	358
8.4.1.5	Bearbeiten.	359
8.4.1.6	Montieren.	359
8.4.2	Werkstückhandhabung.	360
8.4.2.1	Messen und Prüfen.	360
8.4.2.2	Kommissionieren/Palettieren	360
8.4.2.3	Pressen/Schmieden.	361
8.4.2.4	Druck-/Spritzguss.	362
8.4.2.5	Spanende Werkzeugmaschinen	362

	8.4.2.6	Sonstige Werkstückhandhabung	363
8.5		Automatisierungsgerechte Gestaltung	363
8.6		Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	365
8.7		Zusammenfassung und Ausblick	366
Organisation und Gestaltung von Fertigungsprozessen			368
9.1		Wesen der Produktionsvorbereitung	368
	9.1.1	Begriffe	368
	9.1.2	Aufgaben der technologischen Fertigungsvorbereitung	370
	9.1.3	Allgemeine Regeln und Vorgehensweise	371
9.2		Gestaltung von Fertigungsprozessen für Einzelteile	375
	9.2.1	Schrittfolge bei der Fertigungsprozessgestaltung	375
	9.2.2	Konstruktionsprüfung	376
	9.2.3	Rohteilbestimmung	377
	9.2.4	Inhalte der Fertigungsprozessgestaltung	379
	9.2.4.1	Technische und wirtschaftliche Grundbedingungen zur folgerichtigen Ausarbeitung von Fertigungsprozessen	379
	9.2.4.2	Prinzipieller Ablauf der Prozess-erarbeitung	380
	9.2.4.3	Charakteristische Fertigungsprozesse	381
	9.2.4.4	Hinweise für das Erarbeiten der technologischen Fertigungsunterlagen	384
	9.2.5	Exemplarische Erörterung einiger Arbeitsschritte zur detaillierten Ausarbeitung von Arbeitsgängen	387
	9.2.5.1	Festlegung der Werkzeugmaschine	387
	9.2.5.2	Bestimmung der technologischen Basen	389
	9.2.5.3	Bestimmung der technologischen Arbeitswerte	391
	9.2.5.4	Bestimmung der Fertigungszeiten	394
9.3		Technologischer Variantenvergleich	400
	9.3.1	Entscheidungskriterien	400
	9.3.2	Methoden zum Bestimmen vergleichbarer Kosten von Fertigungsvarianten	402
	9.3.2.1	Zuschlagskalkulation	402
	9.3.2.2	Einzelermittlung indirekter Kosten (Einzelkostenkalkulation)	403

	9.3.2.3	Ermittlung vergleichbarer Kosten mit Hilfe von Stundenkostensätzen	404
9.3.3		Berechnung der technologischen Einzelkosten	406
	9.3.3.1	Ermittlung direkt zurechenbarer technologischer Einzelkosten	407
	9.3.3.2	Lokalisierung indirekter Einzelkosten	408
9.3.4		Grenzstückzahlen (kritische Stückzahlen) von Fertigungsvarianten	409
9.3.5		Kosteneinsparungen, Amortisationsdauer	410
9.3.6		Bestimmung der wirtschaftlichen Losgrößen	411
	9.3.6.1	Hauptfaktoren zur Bestimmung der Losgröße	412
	9.3.6.2	Methoden zur Bestimmung der Losgröße	412
9.3.7		Bestimmung der Durchlaufzeit	413
9.4		Organisationsformen der Fertigung	413
	9.4.1	Zeitliche Struktur der Fertigung	414
	9.4.2	Räumliche Struktur der Fertigung	415
	9.4.3	Besonderheiten der Fertigungsart - dargestellt am Beispiel Fließfertigung	415
	9.4.3.1	Technisch-organisatorische Einheiten der Fließfertigung	415
	9.4.3.2	Berechnung der Taktzeiten	416
	9.4.3.3	Ablauf der Taktzeitberechnung	418
9.5		Rechnerunterstützte Planung von Fertigungsprozessen	418
	9.5.1	Begriffe	419
	9.5.2	Ziele und Potenziale durch Rechnerunterstützung	420
	9.5.3	Organisation und Planung rechnerintegrierter Betriebsstrukturen	421
	9.5.4	Rechnerunterstützte Arbeitsplanung	423
	9.5.5	Rechnerunterstützte Produktionsplanung und -Steuerung	427
Sachwortverzeichnis			435