
Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Einordnung der Fertigungstechnik, Begriffe und Grundlagen	1
1.2	Auswahl der Fertigungsverfahren	8
Literatur		9
2	Urformen	11
2.1	Einführung	11
2.2	Urformen von Metallen aus dem flüssigen Zustand	12
2.2.1	Grundbegriffe, Verfahrensübersicht	12
2.2.2	Metallkundliche Grundlagen des Gießens von Metallen	16
2.2.2.1	Entstehung des Gussgefüges	16
2.2.2.2	Gusswerkstoffe	21
2.2.2.3	Gießeigenschaften der Gusswerkstoffe	23
2.2.2.4	Gussfehler	24
2.2.3	Ausgewählte Gießverfahren	25
2.2.3.1	Gießen mit verlorenen Formen und Dauermodellen	25
2.2.3.2	Gießen mit verlorenen Formen und verlorenen Modellen	34
2.2.3.3	Gießen mit Dauerformen	37
2.3	Urformen aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand	42
2.3.1	Grundlagen	42
2.3.2	Pulverherstellung	44
2.3.3	Verarbeitung von Pulvern zu Formkörpern – Formgebung und Verdichten	47
2.3.4	Sintern	50
2.3.5	Weiterbearbeitung und Nachbehandlung	52

2.4	Urformen aus dem plastischen Zustand – Urformen von Kunststoffen	53
2.4.1	Grundlagen	53
2.4.2	Verfahren zum Urformen von Kunststoffen	54
2.4.2.1	Pressen	54
2.4.2.2	Spritzgießen	58
2.4.2.3	Extrudieren	66
2.4.2.4	Schäumen, Rotationsformen, Blasformen	67
2.4.3	Pulverspritzgießen-Metal Injection Moulding MIM und Powder Injection Moulding PIM	69
2.5	Urformen aus dem ionisierten Zustand – Galvanoformung	71
2.5.1	Einführung und Grundlagen	71
2.5.2	Einflussgrößen auf die galvanische Abscheidung von Metallen	76
2.5.3	Technologie der Galvanoformung	81
2.6	Generative Fertigungsverfahren – Rapid Manufacturing	84
2.6.1	Einführung und Grundlagen	84
2.6.2	Ausgewählte generative Fertigungsverfahren	86
2.6.2.1	Stereolithographie SL	86
2.6.2.2	Laser-Sintern LS	90
2.6.2.3	Fused Deposition Modeling FDM bzw. Fused Layer Modeling FLM	95
2.6.2.4	3D-Printing	97
2.6.2.5	Laser chemical vapor deposition LCVD	98
	Literatur	99
3	Umformen	103
3.1	Grundlagen	103
3.2	Ausgewählte Umformverfahren	111
3.2.1	Druckumformen	111
3.2.2	Zug-Druck-Umformen	116
3.2.3	Biegeumformen	121
3.2.3.1	Einteilung der Biegeverfahren	121
3.2.3.2	Theorie des Biegens	122
	Literatur	124
4	Trennen	127
4.1	Einführung	127
4.2	Zerteilen	128
4.2.1	Schneiden von Blech – Grundlagen	128
4.2.2	Feinschneiden	132
4.3	Wasserstrahlschneiden	133
4.3.1	Einführung	133
4.3.2	Der Abtragprozess	136

4.3.3	Die Schneidparameter	137
4.4	Spanen	140
4.4.1	Einführung	140
4.4.2	Grundlagen des Spanens	141
4.4.2.1	Kinematische und geometrische Grundlagen	141
4.4.2.2	Kräfte und Leistungen beim Spanen	145
4.4.2.3	Spanbildung	148
4.4.2.4	Schneidstoffe und ihre Anwendung	152
4.4.2.5	Werkzeugverschleiß und Standgrößen	161
4.4.2.6	Standbegriffe und Standgrößenberechnung	166
4.4.3	Ausgewählte Verfahren des Spanens mit geometrisch bestimmter Schneide	169
4.4.3.1	Drehen	169
4.4.3.2	Bohren, Senken, Reiben	172
4.4.3.3	Fräsen	176
4.4.3.4	Räumen	181
4.4.4	Ausgewählte Verfahren des Spanens mit geometrisch unbestimmter Schneide	183
4.4.4.1	Einführung	183
4.4.4.2	Schleifen	183
4.4.4.3	Honen	191
4.4.4.4	Läppen	194
4.4.5	Spanen mit Ultraschallunterstützung	198
4.4.6	Hochgeschwindigkeitszerspanung – High Speed Cutting HSC	201
4.5	Abtragen	203
4.5.1	Einführung und Überblick	203
4.5.2	Ätzen	205
4.5.2.1	Einführung und Überblick	205
4.5.2.2	Technologischer Ablauf	212
4.5.3	Thermisches Abtragen – Funkenerosion	215
4.5.3.1	Einführung	215
4.5.3.2	Der Erosionsprozess	216
4.5.3.3	Einflussgrößen auf den Erosionsprozess	220
4.5.3.4	Anwendung	226
Literatur	228
5	Fügen	233
5.1	Einführung	233
5.2	Fügen durch An- und Einpressen	237
5.2.1	Einführung	237
5.2.2	Fügen durch Keilen und Stiften	238
5.2.3	Fügen durch Längs- und Querpressen	239

5.2.4	Fügen durch Schrauben	242
5.3	Fügen durch Umformen	244
5.3.1	Einführung	244
5.3.2	Falzen	244
5.3.3	Nieten	245
5.3.4	Durchsetzfügen – Clinchen	249
5.3.5	Crimpen	250
5.4	Fügen durch Stoffverbinden	251
5.4.1	Grundlagen	251
5.4.2	Kleben	256
5.4.2.1	Einführung	256
5.4.2.2	Klebstoffe	258
5.4.2.3	Technologie des Klebens	264
5.4.2.4	Leitkleben	273
5.4.3	Löten	275
5.4.3.1	Einführung und Grundlagen	275
5.4.3.2	Flussmittel und Schutzgase	280
5.4.3.3	Lotwerkstoffe und Lotpasten	283
5.4.3.4	Ausgewählte Lötverfahren	286
5.4.3.5	Löttechnologie	297
5.4.3.6	Lötfehler	299
5.4.4	Schweißen	302
5.4.4.1	Einführung	302
5.4.4.2	Schmelzschweißen	304
5.4.4.2.1	Grundlagen	304
5.4.4.2.2	Ausgewählte Schmelzschweißverfahren .	306
5.4.4.3	Pressschweißen	312
5.4.4.3.1	Einleitung	312
5.4.4.3.2	Widerstandsschweißen	312
5.4.4.3.3	Ultraschallschweißen	318
5.4.4.3.4	Diffusionsschweißen	320
5.4.4.3.5	Kaltpressschweißen	321
5.4.4.3.6	Rührreibschweißen	322
	Literatur	324
6	Beschichten	331
6.1	Einführung	331
6.2	Beschichten aus dem ionisierten Zustand	332
6.2.1	Einführung	332
6.2.2	Elektrolytisches Abscheiden	332
6.2.3	Chemisches Abscheiden	335
6.3	Beschichten aus dem flüssigen Zustand	336

6.4	Beschichten aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand – Dünnschichttechnologie	337
6.4.1	Einführung	337
6.4.2	Technologie ausgewählter PVD-Verfahren	339
6.4.2.1	Überblick	339
6.4.2.2	Substrate und Substratreinigung	339
6.4.2.3	Teilchenerzeugung	341
6.4.2.3.1	Aufdampfen	341
6.4.2.3.2	Sputtern	346
6.4.2.4	Schichtbildung und -wachstum	350
6.4.3	Dünnschichtschaltung	353
6.5	Beschichten aus dem pastenförmigen Zustand – Dickschichttechnologie	354
6.5.1	Einführung	354
6.5.2	Substrate und Substratreinigung	357
6.5.3	Dickschichtpasten	359
6.5.3.1	Einführung	359
6.5.3.2	Leitpasten	359
6.5.3.3	Widerstandspasten	360
6.5.3.4	Dielektrische Pasten	361
6.5.3.5	Sonderpasten	363
6.5.4	Pastenaufbringung und Strukturierung	364
6.5.4.1	Einführung	364
6.5.4.2	Siebdruck	364
6.5.4.3	Schablonendruck	370
6.5.5	Trocknen und Einbrennen der Pasten	372
Literatur	374
7	Leiterplattentechnologie	377
7.1	Einführung	377
7.2	Leiterplattenbasismaterialien	380
7.3	Technologische Arbeitsschritte bei der Leiterplattenherstellung	384
7.3.1	Einführung	384
7.3.2	Herstellung des Originalleiterbildes der Druckvorlage	385
7.3.3	Herstellung des Originalfilms (Originaldia) und des Arbeitsfilms (Arbeitsdia)	387
7.3.4	Mechanische Bearbeitungsverfahren der Leiterplatten	389
7.3.5	Oberflächenvorbehandlung der Leiterplatte	392
7.3.6	Aufbau des Leiterbildes auf der Leiterplatte	394
7.3.7	Oberflächenbeschichtung von Metallen auf der Leiterplatte	396
7.3.8	Ätzen	400

7.3.9	Oberflächenschutz, Lötstopplack, organische Kupferpassivierung OSP, Leitlacke, Wärmeleitpasten und Servicedruck	401
7.4	Herstellungsverfahren für Leiterplatten	403
7.4.1	Einführung	403
7.4.2	Subtraktivverfahren	404
7.4.3	Additivverfahren	410
7.4.4	Kombinierte Subtraktiv-'Additiv'-Verfahren; Semiadditiv-Technik	413
7.5	Flexible und starr-flexible Leiterplatten	413
7.6	Multilayer	416
7.7	Fehler bei der Herstellung von Leiterplatten	419
7.8	Dreidimensionale spritzgegossene Leiterplatten – MID	421
7.8.1	Einführung	421
7.8.2	Verfahren mit Einkomponenten-Spritzgießen	422
7.8.3	MID-Verfahren mit Zweikomponenten-Spritzguss	429
Literatur	432
8	Bestückungstechnologie	437
8.1	Einführung und Überblick	437
8.2	Durchsteckmontage – THT	440
8.3	Oberflächenmontage – Surface Mount Technology SMT	441
8.3.1	Einführung	441
8.3.2	Überblick über oberflächenmontierbare Bauelemente – Surface Mount Device SMD	442
8.3.3	SMD-Bestückungsverfahren	444
8.4	Chip-Montage und COB	447
8.4.1	Einführung	447
8.4.2	Drahtkontaktierung – Chip and wire	449
8.4.3	Tape Automated Bonding – TAB	455
8.4.4	Flip-Chip-Technologie – FC	456
8.5	Entwicklungsrichtungen der Bauelemente-Bestückung	459
Literatur	460
9	Lasermaterialbearbeitung	463
9.1	Einführung	463
9.2	Einflussgrößen auf die Lasermaterialbearbeitung	468
9.2.1	Laserstrahlquellen	468
9.2.2	Laserparameter	471
9.2.3	Werkstoffparameter	473
9.2.4	Bauteilbezogene Größen	474
9.2.5	Bewegungseinrichtungen	474

9.3	Lasertrennen	474
9.3.1	Verfahrensprinzip	474
9.3.2	Einflussgrößen auf die Schnittqualität	477
9.3.3	Anwendungen	478
9.4	Fügen mit Laser	480
9.4.1	Laserlöten	480
9.4.2	Laserstrahlschweißen	481
9.4.2.1	Verfahrensprinzip	481
9.4.2.2	Einflussgrößen	483
9.4.2.3	Anwendung	485
9.5	Abtragen mit Laser	489
9.5.1	Bohren und definierter Materialabtrag	489
9.5.2	Beschriften und Markieren	493
9.5.3	Ritzen und Trimmen	496
9.6	Laserrandschichtbehandlung	496
	Literatur	500
10	Fertigungsverfahren der Mikrostrukturtechnik	503
10.1	Einführung und Überblick	503
10.2	Verfahren auf der Basis der Technologien der Feinwerktechnik	505
10.2.1	Ultrapräzisionszerspanung	505
10.2.2	Mikrospritzgießen	509
10.2.3	Mikroheißprägen	511
10.2.4	Mikrfunkenerosion	516
10.2.5	Mikrostereolithographie und Mikrolasersintern	518
10.2.6	Mikrolaserbearbeitung	520
10.3	Verfahren auf der Basis der Halbleitertechnologien	521
10.3.1	Grundlagen	521
10.3.2	Bulk-Mikromechanik	525
10.3.3	Oberflächenmikromechanik	528
10.3.4	LIGA-Technologie	529
10.3.5	3D UV-Mikroformung	534
	Literatur	535
	Verzeichnis der Bildquellen	539
	Sachwortverzeichnis	541