
Taschenbuch der Werkzeugmaschinen

herausgegeben von
Prof. Dipl.-Ing. Klaus-Jörg Conrad

Mit 613 Bildern und 69 Tabellen



FACHBUCHVERLAG LEIPZIG
im Carl Hanser Verlag

Inhaltsverzeichnis

Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik

1	Einführung	24
1.1	Fertigungsverfahren	25
1.2	Einflussgrößen auf Maschinenkonzepte	26
1.3	Bezeichnungen der Werkzeugmaschinen	27
1.4	Anwenderkriterien für Auswahl und Einsatz von Werkzeugmaschinen	28
2	Prozessorientierung	31
2.1	Organisation	31
2.2	Prozessorientierte Organisation	32
2.3	Prozessmanagement	35
2.4	Ablaufdiagramme	39
2.5	Wissensorientierung	41
3	Technische Kapazität	43
3.1	Kapazität von Betriebsmitteln	44
3.2	Kapazität von Menschen	46
4	Kostengrundlagen der Werkzeugmaschinen	47
4.1	Life-Cycle-Cost	47
4.2	Gliederung der Kostenarten	48
4.3	Break-even-Diagramm	49
4.4	Bestimmung der einzelnen Kostenarten	50
4.5	Ablauf einer Kostenrechnung	57
4.6	Standardsituationen	58
5	Fertigungsautomatisierung	66
6	Fertigungsmesstechnik	68
6.1	Allgemeine Grundlagen der Messtechnik	68
6.1.1	Messtechnische Grundbegriffe	68
6.1.2	Struktur der Messeinrichtung	69
6.1.3	Einheiten und Einheitensystem	72
6.1.4	Messprinzipien, -methoden und -verfahren	73
6.1.5	Messfehler	81
6.1.5.1	Fehlerursachen	81
6.1.5.2	Fehlergruppen	82
6.1.5.3	Fehlerfortpflanzung	85
6.1.6	Statistische Auswertung	85
6.1.6.1	Stichprobenkenngrößen	86
6.1.6.2	Normalverteilung	87
6.1.6.3	Vertrauensintervalle	89
6.2	Messen geometrischer und mechanischer Größen	90
6.2.1	Längen und Winkelmessung	90

6.2.1.1	Werkstattmessgeräte (mech. Aufnehmer)	91
6.2.1.2	Resistive Aufnehmer	91
6.2.1.3	Induktive und kapazitive Aufnehmer	92
6.2.1.4	Pneumatische Aufnehmer	93
6.2.1.5	Inkrementale Aufnehmer	94
6.2.1.6	Codierte Weg- und Winkelaufnehmer	95
6.2.1.7	Laserinterferometrische Längenmessung	96
6.2.2	Messen mechanischer Größen	96
6.2.2.1	Kraftmessung	97
6.2.2.2	Drehmomentenmessung mit DMS	99
6.2.2.3	Druckmessung	99
6.2.2.4	Zeit und Drehzahlmessung	100
6.3	Temperaturmessung	102
6.3.1	Die Internationale Temperaturskala	102
6.3.2	Widerstandsthermometer	102
6.3.3	Thermoelemente	103
6.4	Statistische Fertigungsüberwachung	104
6.4.1	Qualitätsregelkarten	104
6.4.1.1	Aufbau der Qualitätsregelkarten	104
6.4.1.2	Festlegung der Grenzwerte	105
6.4.1.3	Beurteilungskriterien	106
6.4.1.4	Qualitätsregelkarten mit Gedächtnis	107
6.4.2	Prozessfähigkeitskennzahlen	108
6.5	Prüfmittelüberwachung	109
6.5.1	Charakteristische Prüfmittleigenschaften	109
6.5.2	Kalibrierkette (Rückführung)	110
6.5.3	Gerätespezifische Überwachung	111
6.5.4	Prüfaufgabenbezogene Überwachung	111
7	Industrielle Steuerungstechnik	113
8	Instandhaltung von Werkzeugmaschinen	117
8.1	Instandhaltung im Wandel	117
8.2	Aufgaben und Ziele der Instandhaltung	119
8.3	Begriffe der Instandhaltung	120
8.3.1	Inspektion	122
8.3.2	Wartung	123
8.3.3	Instandsetzung	125
8.3.4	Ausfallrate	127
8.3.5	Ausfallursachen	129
8.3.6	Instandhaltungskosten	131
8.4	Instandhaltungsstrategien	133
8.4.1	Die schadens- oder ausfallorientierte Instandhaltung	134
8.4.2	Präventivstrategie (Ersatzstrategie)	135

8.4.3	Inspektionsstrategie (Zustandsorientierte Instandhaltung)	135
8.4.4	Periodische Strategie	135
8.4.5	Auswahl der richtigen Strategie	136
8.4.6	Instandhaltungsstrategien auf einen Blick	139
8.5	Die zustandsorientierte Instandhaltung (Condition Monitoring)	139
8.6	Outsourcing von Instandhaltungstätigkeiten	141
8.7	EDV-Einsatz in der Instandhaltung	142
8.8	Total Productive Maintenance (TPM)	144
8.8.1	Die schlanke Produktion	144
8.8.2	Der Begriff TPM	145
8.8.3	Erhöhung der Gesamtanlageneffizienz	147
8.8.4	Einführung von TPM	148
8.8.5	Der Weg zur Weltklasse-Instandhaltung	148

Werkzeugmaschinen – Aufbau und Baugruppen

9	Grundlagen	152
9.1	Definition und Klassifizierung der Werkzeugmaschinen	152
9.2	Anforderungen	154
9.3	Genauigkeitskennwerte	155
9.4	Steifigkeit	157
9.4.1	Statische Steifigkeit	157
9.4.2	Dynamische Steifigkeit	160
9.5	Thermische Stabilität	164
9.6	Prozesssicherheit	166
9.7	Sonstige Anforderungen	166
9.8	Aufbau von Werkzeugmaschinen	167
10	Gestell	169
10.1	Gestellkonzepte	169
10.2	Werkstoffe	172
11	Führungen	175
11.1	Anforderungen	175
11.2	Wirkprinzipien von Führungen	175
11.2.1	Hydrodynamische Gleitführungen	175
11.2.2	Hydro- und aerostatische Gleitführungen	179
11.2.3	Wälzführungen	181
11.3	Geometrie der Führungselemente	184
12	Hauptantrieb	187
12.1	Hauptantriebe mit gestufter Drehzahlstellung	188
12.2	Hauptantriebe mit stufenloser Drehzahlregelung	194
12.3	Hauptantriebe mit translatorischer Schnittbewegung	199

13	Vorschubantriebe	202
13.1	Vorschubantriebe mit rotatorischen Servoantrieben	203
13.2	Vorschubantriebe mit elektrischem Linearmotor	208
14	Hauptspindel	211
14.1	Einteilung und Ausführung	211
14.2	Wälzgelagerte Hauptspindeln	216
15	Schnittstellen für Werkzeuge und Spannmittel	223
15.1	Allgemeines	223
15.2	Schnittstellen an Drehmaschinen	223
15.2.1	Schnittstellen für Werkzeuge	223
15.2.2	Schnittstellen für Werkstückspannmittel	225
15.3	Schnittstellen an Bohr- und Fräsmaschinen	228
15.3.1	Schnittstellen für Werkzeuge	228
15.3.2	Schnittstellen für Werkstückspannmittel	230
16	Spannmittel	233
16.1	Allgemeines	233
16.2	Spannmittel an Drehmaschinen	233
16.2.1	Grundlagen	233
16.2.2	Typische Spannzeuge	236
16.3	Spannmittel an Fräsmaschinen	240
16.4	Spannmittel an Schleifmaschinen	240
17	Positionsmesssysteme	243
17.1	Messprinzipien und Messverfahren	243
17.1.1	Übersicht angewandeter Messverfahren	243
17.1.2	Funktionsstruktur der Wegmesssysteme	243
17.1.3	Messprinzipien	245
17.2	Ausführungsformen	247
17.2.1	Längenmesssysteme	247
17.2.2	Winkelmesssysteme	249
17.2.3	Code-Messverfahren (absolute Messsysteme)	250
18	Steuerungstechnik und ihre Ausführungen (FA)	252
18.1	Steuerungshierarchien in der Fertigungsautomatisierung	252
18.2	Speicherprogrammierbare Steuerungen	254
18.3	Numerische Steuerungen	257
18.4	Der NC-Lageregelkreis (Servosysteme)	261
18.5	Elektroausrüstung und Schaltanlagen	264
18.6	Steuerung automatisierter Fertigungsabschnitte	264
18.7	Entwicklungstrends der Steuerungstechnik	266
19	NC-Programmierverfahren	268
19.1	Grundbegriffe	268
19.2	Manuelle NC-Programmierung	269
19.3	Rechnergestützte NC-Programmierung	270
19.4	Durchgängiges CAD/CAM/CAQ-Programmiersystem	271

Werkzeugmaschinen für umformende Fertigungsverfahren

20	Umformmaschinen	276
20.1	Umformende Fertigungsverfahren	276
20.2	Aufgaben, Einteilung und Kenngrößen	277
20.3	Pressmaschinen	279
21	Hämmer	282
21.1	Funktionsprinzip, Bauformen	282
21.2	Maschinenkenngößen, Berechnungsdaten	284
21.3	Antriebsarten und Steuerung	285
21.4	Fertigungsaufgaben	287
22	Schwungrad-Spindelpressen	289
22.1	Kenngrößen und Funktionsprinzip	289
22.2	Antriebsbauarten von Spindelpressen	290
22.3	Einsatzbeispiele	292
23	Mechanische Pressen	294
23.1	Kurbel- und Exzenterpressen	296
23.2	Kniehebelpressen	297
23.3	Gelenkantriebspresen	299
23.4	Anwendungsgebiete mechanischer Pressen	299
23.5	Mechanische Pressenanlagen und Produktionssysteme	301
23.6	Mehrstufenpressen	304
24	Rundknetmaschinen	306
25	Hydraulische Pressen	308
25.1	Hydraulische Ziehpressen	309
25.2	Hydraulische Pressen für das Tiefziehen mit Wirkmedien	311
25.3	Hydraulikpressen in der Massivumformung	313
25.4	Hydraulische Pressen und Anlagen für die Innen-Hochdruck-Umformung	315
25.5	Strang- und Rohrpressen	317
26	Zieh- und Drückmaschinen	320
26.1	Drahtziehmaschinen	320
26.2	Walzziehmaschinen	322
26.3	Ziehbänke, Profiliziehmaschinen	323
26.4	Drückmaschinen	323
27	Walzmaschinen	326
27.1	Flachwalzanlagen	327
27.2	Drückwalzmaschinen	328
27.3	Ringwalzmaschinen	330
27.4	Querwalzanlagen	330
27.5	Gewindewalzmaschinen	331
27.6	Glatt- und Festwalzmaschinen	332
28	Biegemaschinen	335
28.1	Gesenkbiegepressen	335

28.2	Schwenkbiegemaschinen	337
28.3	Blechbiegezentren	338
28.4	Stanz-Biegeautomaten	338
28.5	Rundbiegemaschinen	339
28.6	Profil- und Rohrbiegemaschinen	341
28.7	Walzprofilieranlagen	342

Werkzeugmaschinen für zerteilende Fertigungsverfahren

29	Zerteilende Fertigungsverfahren	346
30	Schermaschinen, Scheren	349
30.1	Tafelscheren	349
30.2	Streifenscheren, Kreismesserscheren	351
30.3	Kreisscheren, Kurvenscheren	352
30.4	Winkelscheren	352
31	Schneid- und Stanzmaschinen	354
31.1	Feinschneidpressen	355
31.2	CNC-Stanzmaschinen	358
32	Laserschneidanlagen	360
32.1	Technologien	360
32.2	Maschinenkonzepte	362

Werkzeugmaschinen für Werkzeuge mit geometrisch bestimmten Schneiden

33	Drehmaschinen	366
33.1	Gesichtspunkte zur Einteilung	366
33.2	Entwicklungstendenzen im Drehmaschinenbau	367
33.2.1	Randbedingungen und Einflüsse	367
33.2.2	Technologische Einflüsse	370
33.3	Formeln zur Technologie der Drehbearbeitung	371
33.3.1	Schnittwerte	371
33.3.2	Schnittkräfte	372
33.3.3	Leistungen	373
33.4	Einteilung der Drehmaschinen	374
33.4.1	Übersicht nach VDMA + VDW	374
33.4.2	Einteilung nach Ausstellungskatalog EMO	376
33.5	Beispiele ausgeführter Drehmaschinen	377
33.5.1	Plandrehmaschinen	377
33.5.2	Mechanikerdrehmaschinen	377
33.5.3	Feindrehmaschinen	378
33.5.4	Leit- und Zugspindeldrehmaschinen	380
33.5.5	Produktionsdrehmaschinen	382
33.5.6	Universaldrehmaschinen	383
33.5.7	Mehrspindel-Drehautomaten	383

33.5.8	Frontdrehmaschinen	384
33.5.9	Senkrechtdrehmaschinen	386
33.5.10	Senkrechtdrehmaschinen mit selbst- entladender Werkstückspindel	387
33.5.11	Senkrechtdrehmaschinen (Karussell)	387
33.5.12	Drehräummaschinen	389
33.5.13	Drehschälmaschinen	389
33.5.14	Sonstige Drehmaschinen	389
33.5.15	Spezial-Drehmaschinen	390
33.5.16	Drehzentren und flexible Drehzellen zur Komplettbearbeitung	391
34	Drehmaschinen für die Komplettbearbeitung	394
34.1	Verfahrenseinordnung	394
34.2	Fertigungsverfahren	395
34.3	Bauformen und Ausführungen	396
34.4	Konstruktiver Aufbau	400
34.5	Bauteile	401
35	Drehmaschinen zum Präzisionshardrehen	404
35.1	Verfahrenseinordnung	404
35.1.1	Bauteile und Werkstoffe	406
35.1.2	Oberflächen- und Randzoneeigen- schaften	407
35.2	Werkzeuge und Schneidstoffe	408
35.3	Werkzeugmaschinen für das Hardrehen	410
35.3.1	Konstruktive Anforderungen	410
35.3.2	Grundaufbau der Maschine	411
35.3.3	Führungen und Lagerungen	412
35.3.3.1	Hydrodynamische Gleitführung	412
35.3.3.2	Hydrostatische Gleitführung	413
35.3.4	Weitere Besonderheiten	414
35.4	Spannvorrichtungen	415
36	CNC-gesteuerte Mehrspindel-Drehautomaten	417
36.1	Definition von Mehrspindel-Drehautomaten	417
36.2	Prinzipielle Arbeitsweisen von Mehrspindel- Drehautomaten	417
36.3	Typische Einsatzbereiche und die Verbreitung dieser Maschinen	418
36.4	Der Übergang von kurvengesteuerten zu CNC-gesteuerten Maschinen	419
36.5	Funktions- und Anwendungserweiterung aufgrund der CNC-Technik	419
36.6	Konzeption und Gestaltung moderner CNC-Mehrspindel-Drehautomaten	423
36.7	Arbeitsspindeln und Spindeltrommel	425
36.8	Werkzeugschlitten mit Achsantrieben	426
36.9	Schlittenführungen	429

36.10	Anordnung der Werkzeugschlitten	430
36.11	Werkzeugsysteme	431
36.12	Stangenführungen und Stangenlademagazine	431
36.13	Werkstückhandhabung	433
36.14	Vertikale Drehmaschine	434
36.15	Spezifische Steuerungsprobleme bei CNC-Mehrspindlern	435
36.15.1	Vagabundierende Spindeln	435
36.15.2	Vagabundierende Achsen	435
36.15.3	Rollierende Korrekturen	435
36.15.4	Steuerungsstrukturierung	436
36.16	Arbeitsplanung und Programmierung	436
36.17	Ausblick	438
37	Flachbettdrehmaschinen	440
37.1	Bauformen und Ausführungen	440
37.2	Ausstattung der Maschinen	442
37.3	Baugruppen der Flachbettdrehmaschinen	443
37.4	Steuerung und Programmierung	444
37.5	Fertigungsbeispiele	445
37.6	Berechnungsgleichungen und Anhaltswerte	447
38	Drehbearbeitungszentren für Großteile	448
38.1	Bauformen und Ausführungen	448
38.2	Ausstattung der Maschinen	449
38.3	Fertigungsbeispiele	450
39	Bohrmaschinen	452
39.1	Fertigungsverfahren mit Bohrwerkzeugen	452
39.2	Bauformen und Ausführungen	452
39.3	Ausstattungen der Maschinen	456
39.4	Baugruppen, Antriebe, Achsen, Werkzeuge, Spannmittel	458
39.5	Fertigungsbeispiele	462
40	Tiefbohrmaschinen	464
40.1	Tiefbohren	464
40.1.1	Erläuterung der Tiefbohrverfahren	464
40.1.2	Besonderheiten der Tiefbohr- verfahren	466
40.1.3	Tiefbohrwerkzeuge	468
40.1.4	Arbeitswerte und Genauigkeiten beim Tiefbohren	470
40.2	Maschinen zum Tiefbohren	474
40.2.1	Merkmale von Standard-Tiefbohr- maschinen	474
40.2.2	Tiefbohrmaschinen für das Einlippen- bohren	475
40.2.3	Tiefbohrwerk – Tiefbohrzentrum	478
40.2.4	Tiefbohrmaschinen für das BTA-Bohren	480

41	Tiefbohrmaschinen für große Bohrdurchmesser	484
41.1	Bauformen und Ausführungen	485
41.2	Ausstattung der Maschinen	487
41.3	Baugruppen der Tiefbohrmaschinen	487
41.4	Steuerung und Programmierung	489
41.5	Fertigungsbeispiele	489
41.6	Berechnungsgleichungen und Anhaltswerte	492
42	Fräsmaschinen	494
42.1	Einteilung der Fräsverfahren	494
42.2	Bauformen und Ausführungen	497
42.3	Berechnungsgleichungen	500
43	Universalfräsmaschinen	503
43.1	Monoblockmaschinen	505
43.1.1	Bauweisen von Monoblockmaschinen	505
43.1.2	Ausstattung der Maschinen	506
43.1.3	Baugruppen	507
43.1.4	Optionen zur Grundmaschine	507
43.1.5	Fertigungsbeispiel	509
43.2	Fahrständer-Bettmaschinen	509
43.2.1	Bauweisen von Fahrständer-Bett- Maschinen	511
43.2.2	Ausstattung der Maschinen	511
43.2.3	Baugruppen	512
43.2.4	Optionen zur Grundmaschine	513
43.2.5	Universal-Bearbeitungszentren	514
43.2.6	Fertigungsbeispiel	515
43.3	Portalmaschinen	516
43.3.1	Bauweisen der Portalmaschinen	516
43.3.2	Ausstattung der Maschinen	517
43.3.3	Baugruppen	517
43.3.4	Optionen zur Grundmaschine	518
43.3.5	Fertigungsbeispiele	519
44	Bearbeitungszentren	521
44.1	Horizontal-Bearbeitungszentrum	521
44.1.1	Bauweisen der Horizontal- Bearbeitungszentren	521
44.1.2	Ausstattung der Maschinen	522
44.1.3	Baugruppen	524
44.1.4	Optionen zur Grundmaschine	524
44.1.5	Fertigungsbeispiel	525
44.2	Vertikal-Bearbeitungszentrum	526
44.2.1	Bauweisen der Vertikal-Bearbeitungs- zentren	526
44.2.2	Ausstattung der Maschinen	528
44.2.3	Baugruppen	529
44.2.4	Optionen zur Grundmaschine	529

	44.2.5	Fertigungsbeispiel	530
45		Portalfräsmaschinen	532
	45.1	Bauformen und Ausführungen	532
	45.2	Ausstattung der Maschinen	533
	45.3	Baugruppen	534
	45.4	Steuerungen und Programmierung	535
	45.5	Fertigungsbeispiele	536
46		HSC contra 5-Achsen-Simultanbearbeitung	538
	46.1	Begriffsklärung	538
	46.2	HSC-Einsatz	539
	46.3	HSC-Vorteile	539
	46.4	Modifizierte Gantry-Bauweise	540
	46.5	Mechanik und Antriebstechnik	541
	46.6	CNC-Steuerungen	542
	46.7	Programmierung und Software	543
	46.8	5-Achsen-Komplettbearbeitung	544
	46.9	Fertigungsbeispiele	545
47		Räummaschinen	547
	47.1	Räumen	547
	47.1.1	Allgemeines	547
	47.1.2	Innenräumen	547
	47.1.3	Außenräumen	548
	47.2	Räumwerkzeuge	549
	47.2.1	Allgemeines	549
	47.2.2	Berechnungsgleichungen und Anhaltswerte zur Räumwerkzeug-Auslegung	550
	47.3	Bauformen und Ausführungen	552
	47.3.1	Innenräummaschinen	553
	47.3.2	Außenräummaschinen	554
	47.4	Ausstattungen der Maschinen	555
	47.4.1	Innenräummaschinen	555
	47.4.2	Außenräummaschinen	556
	47.5	Antriebe und Zubehör	558
	47.6	Zubehör zur Räummaschine	559
	47.7	Steuerungen und Programmierung	560
	47.8	Bearbeitungsbeispiele	561
	47.8.1	Räumen von Haltern an Scheibenbremsen	561
	47.8.2	Räumen von Lenkzahnstangen	561
48		Sägemaschinen	563
	48.1	Fertigungsverfahren mit Sägemaschinen	563
	48.1.1	Bügelsägen	563
	48.1.2	Kreissägen	564
	48.1.3	Bandsägen	565
	48.2	Abgrenzung der Sägeverfahren	566
	48.3	Bauformen und Ausführungen	569

48.4	Steuerung und Technologie-Einstellung	571
48.5	Anwendungsorientierte Ausstattung von Sägemaschinen	572
48.5.1	Universalsägen im Werkstatt-Einsatz	572
48.5.2	Trägersägen	573
48.5.3	Mengensägen in der Großserienfertigung	574
48.5.4	Auftragssägen in Industrie und Handel	575
48.5.5	Großbearbeitung	576
48.5.6	Lagertechnik im Sägenumfeld	577

Werkzeugmaschinen für Werkzeuge mit geometrisch unbestimmten Schneiden

49	Rundschleifmaschinen	582
49.1	Fertigungsverfahren Schleifen	582
49.1.1	Grundlagen	583
49.1.1.1	Kinematische Grundlagen	583
49.1.1.2	Schleifkraft und Verschleiß	584
49.2	Schleifwerkzeug	585
49.2.1	Schleifmittel und Bindung	585
49.2.2	Schleifwerkzeuge mit Korund- und Siliciumcarbid-Kornwerkstoffen	586
49.2.3	Werkzeugaufspannung	587
49.2.4	Abrichten des Schleifwerkzeugs	589
49.3	Der Schleifprozess	591
49.3.1	Änderung des Schneidenraums im Schleifprozess	592
49.3.2	Schleifkraft und Schleifleistung	592
49.3.3	Schleiftemperatur und Kühlung	592
49.3.4	Mehrstufiger Schleifprozess	594
49.4	Schleifverfahren	594
49.4.1	Außenrundschleifen	595
49.4.2	Innenrundschleifen	597
49.4.3	Spitzenloses Außen- und Innenrundschleifen	599
49.5	Generelle Maschinenanforderungen an Rundschleifmaschinen	600
49.5.1	Baugruppen	602
49.5.2	Antriebe, Motoren, Steuerungen	605
49.5.3	Fertigungsbeispiele	606
49.5.3.1	Außenrundschleifen	606
49.5.3.2	Außen- und Innenrundschleifen in einer Aufspannung	607
49.5.3.3	Verfahrenskombinationen zur Komplettbearbeitung in einer Aufspannung	610

50	Umfangsplan- und Profilschleifmaschinen	611
50.1	Einteilung nach DIN 8589, Teil 1	611
50.2	Generelle Maschinenanforderungen	611
50.2.1	Führungen	613
50.2.2	Antriebe	614
50.2.2.1	Achsantriebe	614
50.2.2.2	Hauptantriebe	614
50.2.2.3	Messsysteme	615
50.3	Spezielle Maschinenanforderungen	616
50.3.1	Einzelteil- und Kleinserienfertigung	616
50.3.1.1	Technologie	617
50.3.1.2	Abrichtverfahren	619
50.3.2	Mittel- und Großserienfertigung	624
50.3.2.1	Technologie	624
50.3.2.2	Abrichtverfahren	625
50.3.3	Anlagen für Massenproduktion	632
50.4	Maschinenkinematiken	635
50.4.1	Supportbauweise	635
50.4.2	Fahrständerbauweise	637
50.4.2.1	Schulterführungsbauweise	637
50.4.2.2	Fahrständer mit Kreuzschlitten	639
50.4.2.3	Fahrständer mit Kreuzschlitten und Rundtisch	640
50.4.3	Auslegerbauweise	641
50.4.4	Portalbauweise	641
50.4.5	Rundtischmaschinen	642
50.4.6	Maschinen zum Plan-Seitenschleifen	643
50.5	Steuerungstechnik	644
50.5.1	Manuelle Maschinen	644
50.5.2	Einfache NC-Maschinen	644
50.5.3	CNC-bahngesteuerte Maschinen	645
50.6	Anforderungen an den Einsatz von hochharten Schneidstoffen	647
50.6.1	CBN-Schleifscheiben mit galvanischer Bindung	648
50.6.2	CBN-Schleifscheiben mit keramischer Bindung	649
50.6.3	CBN-Schleifscheiben mit sonstigen Bindungen	650
50.6.4	Diamantschleifscheiben	650
50.7	Anhaltswerte zum Leistungsbedarf	651
50.8	Zusammenfassung	652
51	Honmaschinen	654
51.1	Der Honprozess	654
51.1.1	Einleitung	654
51.1.2	Kinematik und Oberflächenentstehung	654

51.2	Langhubhonen	657
51.2.1	Aufbau von Langhubhonmaschinen . .	657
51.2.1.1	Bauarten	657
51.2.1.2	Hubantrieb und Zustellsysteme	659
51.2.2	Honwerkzeuge und Kühlschmiersysteme	659
51.2.3	Fertigungsaufgaben	660
51.2.3.1	Zylinderlaufbahnen	660
51.2.3.2	Dornhonen von Pleuelstangen	661
51.2.3.3	Zahnräder	662
51.3	Kurzhubhonen	663
51.3.1	Aufbau von Kurzhubhonmaschinen . .	666
51.3.2	Kuschmiersystem	667
51.3.3	Finishwerkzeuge	668
51.3.3.1	Oszillierende Finishwerkzeuge	669
51.3.3.2	Rotierende Finishwerkzeuge	670
51.3.4	Fertigungsaufgaben	671
52	Wasserstrahlschneidanlagen	675
52.1	Grundlagen – Wirkmechanismen	675
52.2	Verfahrensvarianten	677
52.2.1	Wasserstrahl	677
52.2.2	Wasserabrasiv-Injektorstrahl (WAIS)	680
52.2.3	Wasserabrasiv-Suspensionsstrahl (WASS)	682
52.3	Anlagen und Komponenten	685
52.3.1	Wasserabrasiv-Injektorstrahlverfahren .	685
52.3.2	Wasserabrasiv-Suspensionsstrahl- schneiden	686
52.4.	Anwendungsbeispiele und Einsatzgrenzen	688

Werkzeugmaschinen für die Herstellung von Verzahnungen

53	Verzahnmaschinen	694
53.1	Einführung und Grundlagen	694
53.1.1	Begriffe	695
53.1.2	Verfahrensübersicht	695
53.1.3	Antriebs- und Steuerungstechnik	697
53.2	Maschinen zur spanlosen Herstellung von Verzahnungen	698
53.2.1	Präzisionsschmiedemaschinen	698
53.2.2	Pressen	699
53.2.3	Kaltwalzmaschinen	701
53.2.3.1	Kaltwalzen nach dem Grob-Verfahren .	701
53.2.3.2	Querwalzen mit außen verzahnten Rundbackenwerkzeugen	703
53.2.3.3	Querwalzen mit innen profilierten Rundbackenwerkzeugen	704

	53.2.3.4	Querwalzen mit Flachbackenwerkzeugen (Rotoflo-Verfahren)	705
53.3		Maschinen zur Weichvorbearbeitung	706
	53.3.1	Abwälzmaschinen für Zylinderräder	706
	53.3.1.1	Wälzfräsmaschinen	708
	53.3.1.2	Wälzstoßmaschinen	713
	53.3.1.3	Kombinierte Wälzfräs-/Wälzstoßmaschinen	718
	53.3.1.4	Wälzhobelmaschinen	719
	53.3.1.5	Wälzschälmaschinen	721
	53.3.2	Formmaschinen für Zylinderräder	723
	53.3.2.1	Räummaschinen	723
	53.3.3	Abwälzmaschinen für Kegelhäder	725
	53.3.3.1	Wälzfräsmaschinen (Palloid-Verfahren)	726
	53.3.3.2	Wälzfräsmaschinen (Messerkopf-Verfahren)	727
	53.3.4	Formmaschinen für Kegelhäder	730
53.4		Maschinen zur Weichfeinbearbeitung	731
	53.4.1	Zahnrad-schabmaschinen für Zylinderräder	731
53.5		Maschinen zur Hartfeinbearbeitung	733
	53.5.1	Wälzverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide	734
	53.5.1.1	Schälwälzfräsmaschinen für Zylinderräder	734
	53.5.1.2	Hartschälmaschinen für Zylinderräder	735
	53.5.1.3	HPG-/HPGS-Verfahren für Kegelhäder	737
	53.5.2	Wälzverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide	738
	53.5.2.1	Wälzschleifmaschinen für Zylinderräder	739
	53.5.2.2	Hon-/Schabschleifmaschinen für Zylinderräder	742
	53.5.2.3	Wälzschleifmaschinen für Kegelhäder	744
	53.5.2.4	Läppmaschinen für Kegelhäder	745
	53.5.3	Formverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide	746
	53.5.3.1	Diskontinuierliche Form-(Profil-)Schleifmaschinen	746
	53.5.3.2	Kontinuierliche Formschleifmaschinen	748
	53.5.3.3	Harträummaschinen für Zylinderräder	749
	53.5.4	Kombinierte Hartfeinbearbeitungsmaschinen	750
53.6		Fertigungsfolgen	751

Werkzeugmaschinen – Trends und Verfahren

54	Laserabtragmaschinen	758
54.1	Einleitung	758
54.2	3D-Laserabtragen mit dem Nd:YAG-Laser	758
54.3	Laserabtragmaschinen	759
54.3.1	Aufbau	759
54.3.2	Steuerung	760
54.3.3	Varianten in der Ausführung	761
54.3.3.1	Maschine zum Tiefgravieren	761
54.3.3.2	Maschine für den Formenbau	761
54.3.3.3	Maschine mit Inprozessregelung der Tiefe	762
54.3.4	Optionen	762
54.3.4.1	Messtaster	762
54.3.4.2	Justagekamera	762
54.3.5	Technische Daten	763
54.4	Anwendungsbeispiele	763
54.4.1	Modelleisenbahndrehgestell	763
54.4.2	Sperrbolzenschieber	764
55	Rapid Prototyping-Anlagen	765
55.1	Allgemeines	765
55.2	Werkstoff- und werkzeugseitige Anforderungen	766
55.2.1	RP-Werkstoffe	766
55.2.2	RP-Werkzeuge	768
55.3	Stereolithografie	768
55.3.1	Verfahren	768
55.3.2	Vor- und Nachteile	769
55.3.3	Aufbau der Anlagen	769
55.3.4	Belichtung und Scanstrategie	769
55.3.5	Werkstoffe und Modelleigenschaften	770
55.3.6	Werkstoffauftrag (Recoating)	770
55.3.6.1	Verfahren 1	770
55.3.6.2	Verfahren 2	771
55.3.6.3	Verfahren 3	771
55.3.6.4	Verfahren 4	771
55.4	Lasersintern und selektives Lasersintern	771
55.4.1	Verfahren	771
55.4.2	Vor- und Nachteile	772
55.4.3	Aufbau der Anlagen	772
55.4.4	Lasersteuerung und Scanstrategie	772
55.4.5	Werkstoffe und Modelleigenschaften	774
55.4.6	Werkstoffauftrag	774
55.5	LOM – Laminated Object Manufacturing	775
55.5.1	Verfahren	775
55.5.2	Vor- und Nachteile	776
55.5.3	Aufbau der Anlagen	776

	55.5.4	Lasersteuerung	777
	55.5.5	Werkstoffe und Modelleigenschaften	777
	55.5.6	Werkstoffauftrag	778
55.6		Fused Deposition Modeling	778
	55.6.1	Verfahren	778
	55.6.2	Vor- und Nachteile FDM	779
	55.6.3	Aufbau der Anlagen	779
	55.6.4	Extrudersteuerung	780
	55.6.5	Werkstoffe und Modelleigenschaften	780
	55.6.6	Werkstoffauftrag	781
55.7		Andere Anlagen	781
	55.7.1	Model Maker II	781
	55.7.2	Thermojet	783
	55.7.3	Desk Modeler	783
	55.7.4	Z402 3D-Printer	783
55.8		Anhang	785
56		Werkzeugmaschinen mit parallelkinematischen Strukturen	787
		Sachwortverzeichnis	793