

Klaus-Jörg Conrad (Hrsg.)

Taschenbuch der **Werkzeug- maschinen**



3. Auflage



HANSER

Werkzeugmaschinen in der Fertigung	W F T
Werkzeugmaschinen – Aufbau und Baugruppen	W A B
Werkzeugmaschinen für umformende Fertigungsverfahren	W U F
Werkzeugmaschinen für zerteilende Fertigungsverfahren	W Z F
Werkzeugmaschinen für Werkzeuge mit geometrisch bestimmten Schneiden	W B S
Werkzeugmaschinen für Werkzeuge mit geometrisch unbestimmten Schneiden	W U S
Sachwortverzeichnis	S W V

Conrad (Hrsg.)
Taschenbuch der Werkzeugmaschinen

Herausgeber

Prof. Dipl.-Ing. Klaus-Jörg Conrad, Burgdorf

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Henning Ahlers, Hochschule Hannover, (Kap. 7-15)

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Lutz Abel, Werkzeugmaschinenfabrik Waldrich Coburg GmbH, Coburg, (Kap. 42)

Prof. Dr.-Ing. Dieter Beuke, Groß Schwülper, (Kap. 5)

Prof. Dipl.-Ing. Klaus-Jörg Conrad, Burgdorf, (Kap. 1, 2, 32, 34, 35, 38, 39)

Dr.-Ing. Jens Flügge, Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB, Braunschweig, (Kap. 5)

Dr.-Ing. Thomas Garber, DECKEL MAHO Pfronten GmbH, Pfronten, (Kap. 40, 41)

Prof. Dr.-Ing. Bernd Hager, Hochschule Hannover, (Kap. 18-31)

Dipl.-Ing. (FH) Karlheinz Haßlach, Hoffmann Räumtechnik GmbH, Pforzheim, (Kap. 44)

Udo Hipp, Maschinenfabrik Berthold Hermle AG, Gosheim, (Kap. 43)

Prof. Dr.-Ing. Falk Höhn, Fachhochschule Stralsund, (Kap. 6)

Dipl.-Ing. Uwe Kästner, Nagel Maschinen- und Werkzeugfabrik GmbH, Nürtingen, (Kap. 48)

Prof. Dr.-Ing. Tjark Lierse, Hochschule Hannover, (Kap. 46)

Dipl.-Ing. (FH) Martin Mayer, Nagel Maschinen- und Werkzeugfabrik GmbH, Nürtingen, (Kap. 48)

Dipl.-Ing. Peter Oppelt, Blohm Jung GmbH, Hamburg, (Kap. 47)

Dipl.-Ing. (FH) Hermann Randecker, TBT Tiefbohrtechnik GmbH & Co., Dettlingen, (Kap. 37)

Erich Schörghuber, ALZMETALL Werkzeugmaschinenfabrik und Gießerei Friedrich GmbH, Altenmarkt, (Kap. 36)

Dipl.-Ing. (FH) Karl-Heinz Schumacher, INDEX-Werke GmbH & Co. KG, Esslingen, (Kap. 33)

Dr.-Ing. Axel Schween, Peine, (Kap. 34, 35, 38)

Dipl.-Ing. Armin Stolzer, KASTO Maschinenbau, Achern, (Kap. 45)

Dr.-Ing. Udo Tüllmann, DECKEL MAHO Seebach GmbH, Seebach, (Kap. 40, 41)

Dr.-Ing. Ulrich Viebahn, Gießen, (Kap. 3, 4)

Prof. Dr.-Ing. Nils Waldt, Hochschule Hannover, (Kap. 16, 17)

Dr.-Ing. Klaus Wendt, Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB, Braunschweig, (Kap. 5)

Taschenbuch der Werkzeugmaschinen

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

3., neu bearbeitete Auflage

Mit 492 Bildern und 52 Tabellen



Fachbuchverlag Leipzig
im Carl Hanser Verlag



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-446-43855-2

E-Book-ISBN 978-3-446-43816-3

Einbandbild: Dreh-Fräszentrum INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky
Esslingen

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag

© 2015 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Ute Eckardt

Herstellung: Katrin Wulst

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

Vorwort

Das „Taschenbuch der Werkzeugmaschinen“ wurde für die 3. Auflage neu bearbeitet, um die Entwicklung und den Stand der Technik durch neue Beiträge und aktualisierte Kapitel darzustellen.

Neue und bewährte Autoren haben praxisorientiert die Werkzeugmaschinen und die Fachgebiete vorgestellt, die für deren Einsatz in der Produktion sinnvoll sind. Das wesentliche Ziel des Herausgebers und aller Autoren ist eine kurze und übersichtliche Darstellung der Themen mit Beispielen und Anwendungen moderner Werkzeugmaschinen für den Einsatz in der Fertigung.

In diesem Taschenbuch sind natürlich nicht alle Werkzeugmaschinenarten und deren Einsatzmöglichkeiten enthalten. Es bietet aber einen sorgfältig zusammengestellten Überblick der modernen Werkzeugmaschinen mit den Fertigungsverfahren.

Dieses Buch soll Ingenieure, Techniker und Interessierte ansprechen, die insbesondere in den Bereichen Konstruktion, Planung und Fertigung tätig sind. Dazu gehören auch Studentinnen und Studenten aller Hochschularten, um den aktuellen Stand der Technik im Werkzeugmaschinenbau kurz und einprägsam zur Verfügung zu haben.

In diesem Buch sind stets Frauen und Männer gemeint, auch wenn nur die männliche Form zur Übersichtlichkeit verwendet wird.

Das Taschenbuch ist in Bereiche gegliedert, die als Hauptkapitel auf die folgenden Inhalte hinweisen. Das Hauptkapitel Werkzeugmaschinen in der Fertigung enthält Beiträge, die für alle behandelten Bereiche gelten. Das notwendige Grundlagenwissen über den Aufbau und die Baugruppen der Maschinenarten wird im Folgenden Bereich vorgestellt. Die Einteilung der Werkzeugmaschinen erfolgte nach den Fertigungsverfahren, für die diese Maschinen eingesetzt werden. Die Kapitel der Werkzeugmaschinen enthalten auch Fertigungsbeispiele und Erfahrungswerte, um mögliche Einsatzfälle in der Praxis zu erkennen.

Das Fachgebiet Werkzeugmaschinen hat für viele Bereiche der Technik eine besondere Bedeutung. Die Entwicklung neuer Produkte erfordert oft neue Fertigungsverfahren und noch leistungsfähigere Werkzeugma-

schinen einzusetzen. Neue Erkenntnisse und die Entwicklung neuer leistungsfähiger Komponenten in der Steuerungs- und Antriebstechnik sowie in der Spanntechnik und bei den Werkzeugsystemen sorgen für ständige Herausforderungen im Werkzeugmaschinenbau, mit dem Ergebnis neuer, praxisorientierter Maschinenkonzepte.

Der Herausgeber dankt allen Autoren für die gute Zusammenarbeit, ihre Zeit und die Bereitstellung ihres Wissens, die sie durch die Übernahme von Beiträgen geleistet haben. Allen auf den letzten Seiten genannten Unternehmen, die Bildmaterial und Unterlagen zur Verfügung gestellt haben, danke ich ebenfalls. Für die Unterstützung durch Frau Klafki (NAGEL), Frau Leins (INDEX), Frau Lindner (WEILER), Frau März (KASTO) und Frau Matthäi (DECKEL MAHO) sowie durch Herrn Schöpfer (GILDEMEISTER) vielen Dank.

Bedanken möchte ich mich auch bei den Verfassern der Fachliteratur über Werkzeugmaschinen und die behandelten Fachgebiete, von denen viele bewährte Darstellungen als Anregungen dienten.

Besonderer Dank für die sehr gute Zusammenarbeit gilt Frau Ute Eckardt und Frau Katrin Wulst vom Fachbuchverlag Leipzig, die sich sehr engagiert für die Betreuung und die Realisierung dieses Taschenbuches eingesetzt haben.

Anregungen, Hinweise und Stellungnahmen zur Verbesserung des Taschenbuches nehmen der Herausgeber und alle Autoren gern entgegen und werden diese für weitere Auflagen berücksichtigen.

Burgdorf, im April 2015

Klaus-Jörg Conrad

Inhaltsverzeichnis

Werkzeugmaschinen in der Fertigung	25
1 Einführung	26
1.1 Fertigung und Fertigungsverfahren	28
1.2 Einflussgrößen auf Maschinenkonzepte	30
1.3 Bezeichnungen der Werkzeugmaschinen	31
1.4 Anwenderkriterien für Auswahl und Einsatz von Werkzeugmaschinen	31
1.5 Technologische Trends	34
Quellen und weiterführende Literatur	36
2 Prozessorientierung	37
2.1 Organisation	37
2.2 Prozessorientierte Organisation	38
2.3 Prozessmanagement	42
2.4 Ablaufdiagramme und Prozessbeschreibung	46
2.5 Wertschöpfung in Prozessen	49
2.6 Verschwendung in Prozessen	50
Quellen und weiterführende Literatur	51
3 Technische Kapazität	52
3.1 Kapazität von Betriebsmitteln	54
3.2 Kapazität von Menschen	55
Quellen und weiterführende Literatur	56
4 Kostengrundlagen der Werkzeugmaschinen ...	57
4.1 Life Cycle Cost	57
4.2 Gliederung der Kostenarten	58
4.3 Break-Even-Diagramm	60
4.4 Bestimmung der einzelnen Kostenarten	60

4.5	Ablauf einer Kostenrechnung	66
4.6	Standardsituationen	67
	Quellen und weiterführende Literatur	75

5 Fertigungsmesstechnik 76

5.1	Allgemeine Grundlagen der Messtechnik	77
5.1.1	Messtechnische Grundbegriffe	77
5.1.2	Struktur der Messeinrichtung	78
5.1.3	Einheiten und Einheitensystem	81
5.1.4	Messprinzipien, -methoden und -verfahren ..	82
5.1.5	Messabweichung	91
	5.1.5.1 Ursachen für Messabweichungen ...	91
	5.1.5.2 Arten von Messabweichungen	92
	5.1.5.3 Unsicherheitsfortpflanzung	94
5.1.6	Statistische Auswertung	95
	5.1.6.1 Stichprobenkenngrößen	95
	5.1.6.2 Normalverteilung	96
	5.1.6.3 Vertrauensintervalle	99
5.2	Messen geometrischer und mechanischer Größen	100
5.2.1	Längen und Winkelmessung	100
	5.2.1.1 Werkstattmessgeräte	100
	5.2.1.2 Resistive Aufnehmer	101
	5.2.1.3 Induktive und kapazitive Aufnehmer	101
	5.2.1.4 Pneumatische Aufnehmer	103
	5.2.1.5 Inkrementale Aufnehmer	104
5.2.2	Positionsmesssysteme	105
	5.2.2.1 Übersicht angewandeter Messverfahren	105
	5.2.2.2 Funktionsstruktur der Wegmesssysteme	106
	5.2.2.3 Funktion und Eigenschaften verschiedener Messprinzipien	107
	5.2.2.4 Referenzmarken und Code- Messverfahren	113
	5.2.2.5 Ausführungsformen	114
	5.2.2.6 Mehrdimensionale Messungen	115
	5.2.2.7 Auswertung und Datenübertragung .	116
5.2.3	Messen mechanischer Größen	118
	5.2.3.1 Kraftmessung	118
	5.2.3.2 Drehmomentenmessung mit DMS ...	120

	5.2.3.3	Druckmessung	120
	5.2.3.4	Zeit- und Drehzahlmessung	121
5.3		Temperaturmessung	122
	5.3.1	Die internationale Temperaturskala	122
	5.3.2	Widerstandsthermometer	123
	5.3.3	Thermoelemente	124
5.4		Statistische Fertigungsüberwachung	124
	5.4.1	Qualitätsregelkarten	125
	5.4.1.1	Aufbau der Qualitätsregelkarten ...	125
	5.4.1.2	Festlegung der Grenzwerte	126
	5.4.1.3	Beurteilungskriterien	127
	5.4.1.4	Qualitätsregelkarten mit Gedächtnis	128
	5.4.2	Prozessfähigkeitskennzahlen	129
5.5		Prüfmittelüberwachung	130
	5.5.1	Charakteristische Prüfmittelleigenschaften ...	130
	5.5.2	Kalibrierkette (Rückführung)	131
	5.5.3	Gerätespezifische Überwachung	132
	5.5.4	Prüfaufgabenbezogene Überwachung	132
		Quellen und weiterführende Literatur	133

6 Industriedesign und Ergonomie 134

6.1		Einordnung der Gestaltung	134
6.2		Gestalterische Mittel	138
6.3		Gestaltungsansätze	141
6.4		Ergonomie	142
	6.4.1	Aufgaben der Ergonomie bei der Produktentwicklung und -gestaltung	145
	6.4.2	Eigenschaften des Menschen	146
6.5		Beispiele	148
6.6		Zusammenfassung	152
		Quellen und weiterführende Literatur	152

Werkzeugmaschinen – Aufbau und Baugruppen 153

7 Grundlagen 154

7.1		Definition und Klassifizierung der Werkzeug- maschinen	154
7.2		Aufgabe und Anforderungen	156
7.3		Genauigkeitskennwerte	158

7.4	Steifigkeit	160
7.4.1	Statische Steifigkeit	161
7.4.2	Dynamische Steifigkeit	165
7.5	Thermische Stabilität	173
7.6	Prozesssicherheit	175
7.7	Aufbau von Werkzeugmaschinen	176
	Quellen und weiterführende Literatur	177
8	Gestelle	178
8.1	Aufgaben und Anforderungen	178
8.2	Gestellkonzepte	179
8.3	Werkstoffe	182
8.4	Dynamische Zusatzsysteme	184
	Quellen und weiterführende Literatur	184
9	Führungen	186
9.1	Aufgaben und Anforderungen	186
9.2	Hydrodynamische Gleitführungen	188
9.3	Hydro- und aerostatische Gleitführungen	191
9.4	Wälzführungen	195
9.5	Führungsbahnschutz	197
	Quellen und weiterführende Literatur	198
10	Hauptspindel	200
10.1	Aufgaben und Anforderungen	200
10.2	Wälzgelagerte Hauptspindeln	203
10.3	Hydrostatische Spindellagerungen	209
	Quellen und weiterführende Literatur	210
11	Hauptantrieb	211
11.1	Aufgaben und Anforderungen	211
11.2	Antriebsmotoren mit stufenloser Drehzahlregelung ..	212
11.3	Bauarten von Hauptantrieben	217
	Quellen und weiterführende Literatur	220

12	Vorschubantriebe	221
12.1	Aufgabe und Anforderungen	221
12.2	Elektrische Antriebsmotoren	222
12.3	Getriebe in Vorschubantrieben	225
12.4	Lageregelung	229
12.5	Auslegung von Vorschubantrieben	232
	Quellen und weiterführende Literatur	235
13	Positions- und Winkelmesssysteme	236
13.1	Aufgabe und Anforderungen	236
13.2	Messverfahren	238
13.3	Messprinzipien	241
13.4	Schnittstellen	243
13.5	Ausführungsformen	244
	13.5.1 Längenmessgeräte	245
	13.5.2 Winkelmessgeräte	245
	13.5.3 Drehgeber	246
	Quellen und weiterführende Literatur	246
14	Schnittstellen für Werkzeug- und Werkstückspannmittel	247
14.1	Aufgaben und Anforderungen	247
14.2	Schnittstellen für Werkzeugspannmittel	249
14.3	Schnittstellen für Werkstückspannmittel	253
	Quellen und weiterführende Literatur	254
15	Spannmittel	255
15.1	Aufgaben und Anforderungen	255
15.2	Spannmittel für zylindrische Werkzeuge	256
15.3	Spannmittel für Werkstücke mit regelmäßiger Grundgeometrie	258
15.4	Spannvorrichtungen	260
	Quellen und weiterführende Literatur	261

16	Steuerungstechnik	262
16.1	Definition und Abgrenzung	262
16.2	Einteilung von Steuerungen	266
16.3	Speicherprogrammierbare Steuerungen	270
16.3.1	Arbeitsweise der SPS	271
16.3.2	Programmierung einer SPS	272
16.3.3	Zeitverhalten	275
16.4	Numerische Steuerungen	276
16.5	NC-Programme	278
	Quellen und weiterführende Literatur	279
17	NC-Programmiermethoden	281
17.1	Programmierverfahren	281
17.1.1	Manuelle und werkstatorientierte Programmierung	281
17.1.2	Rechnergestützte Programmierung	282
17.2	Fräsen	284
17.2.1	2,5D-Bearbeitung	284
17.2.2	3D-Bearbeitung	286
17.3	Drehen	287
	Quellen und weiterführende Literatur	288
	Werkzeugmaschinen für umformende Fertigungsverfahren	289
18	Umformmaschinen	290
18.1	Umformende Fertigungsverfahren	290
18.2	Aufgaben, Einteilung und Kenngrößen	291
18.3	Pressmaschinen	293
	Quellen und weiterführende Literatur	296
19	Hämmer	297
19.1	Funktionsprinzip und Bauformen	297
19.2	Maschinenkenngrößen	299
19.3	Antriebsarten und Steuerung	300
19.4	Fertigungsaufgaben	301
	Quellen und weiterführende Literatur	302

20	Schwungrad-Spindelpressen	303
	20.1 Kenngößen und Funktionsprinzip	303
	20.2 Antriebsbauarten	304
	20.3 Einsatzbeispiele	306
	Quellen und weiterführende Literatur	307
21	Mechanische Pressen	308
	21.1 Kurbel- und Exzenterpressen	310
	21.2 Kniehebel-/Doppelkniehebelpressen	313
	21.3 Gelenkpressen	314
	21.4 Einsatzgebiete mechanischer Pressen	315
	21.5 Mechanische Pressenanlagen und Produktionssysteme	317
	21.6 Mehrstufenpressen	321
	21.7 Servopressen	322
	Quellen und weiterführende Literatur	327
22	Rundknetmaschinen	328
	Quellen und weiterführende Literatur	330
23	Hydraulische Pressen	331
	23.1 Hydraulische Ziehpressen	332
	23.2 Hydraulische Pressen für das Tiefziehen mit Wirkmedien	335
	23.3 Hydraulikpressen in der Massivumformung	337
	23.4 Hydraulische Pressen für die Innen-Hochdruck- Umformung	339
	23.5 Strang- und Rohrpressen	343
	Quellen und weiterführende Literatur	344
24	Zieh- und Drückmaschinen	346
	24.1 Drahtziehmaschinen	346
	24.2 Walzziehmaschinen	348
	24.3 Ziehbänke, Profiliziehmaschinen	349
	24.4 Drückmaschinen	350
	Quellen und weiterführende Literatur	352