

Handbuch der Fertigungstechnik

Herausgegeben

von Prof. Dr.-Ing. Günter Spur

und Prof. Dr.-Ing. Theodor Stöferle

Band 1 Urformen

Band 2 Umformen und Zerteilen

Band 3 Spanen (in zwei Teilbänden)

Band 4 Abtragen, Beschichten und Wärmebehandeln

Band 5 Fügen, Handhaben und Montieren

Band 6 Fabrikbetrieb

Carl Hanser Verlag München Wien

Handbuch der Fertigungstechnik

Herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. Günter Spur
und Prof. Dr.-Ing. Theodor Stöferle

Band 3/1

Spanen

Mit 652 Bildern und 34 Tabellen

Carl Hanser Verlag München Wien 1979

Inhalt

1	Einführung in die Zerspantechnik	1	
1.1	Geschichtliche Entwicklung	1	
1.2	Bedeutung der Zerspantechnik	7	
1.3	Grundbegriffe und Einteilung der spanenden Fertigungsverfahren	13	
Literatur	zu	Kapitel 1	18
2	Grundlagen der Zerspanung	20	
2.1	Kinematik des Zerspanvorgangs und Schneidkeilgeometrie	20	
2.1.1	Kinematik	20	
2.1.2	Schneidkeilgeometrie	27	
2.2	Spanbildung und Spanarten	31	
2.3	Spanformen	33	
2.3.1	Beurteilung der Spanform	33	
2.3.2	Einflußgrößen auf die Spanform	34	
2.3.2.1	Schnittbedingungen und Schneidkeilgeometrie	34	
2.3.2.2	Werkstückstoff	34	
2.3.2.3	Spanleitstufen	34	
2.4	Beanspruchung des Schneidkeils	35	
2.4.1	Mechanische Beanspruchung	35	
2.4.1.1	Komponenten der Zerspankraft	35	
2.4.1.2	Berechnung der Zerspankraft	37	
2.4.1.3	Messung der Zerspankraftkomponenten	44	
2.4.1.4	Datenbank für Zerspankraft-Kenngrößen	45	
2.4.2	Thermische Beanspruchung	46	
2.4.2.1	Energieumwandlungsstellen und Aufteilung der Zerspanarbeit	46	
2.4.2.2	Wärme- und Temperaturverteilung im Werkstück, Span und Werkzeug	47	
2.5	Verschleiß am Schneidkeil	48	
2.5.1	Verschleißformen und-meßgrößen	48	
2.5.2	Verschleißursachen	49	
2.5.2.1	Beschädigung der Schneidkante	49	
2.5.2.2	Mechanischer Abrieb	51	
2.5.2.3	Adhäsion	51	
2.5.2.4	Diffusion	53	
2.5.2.5	Verzunderung	53	
2.6	Standzeit	54	
2.6.1	Zerspanversuche zur Ermittlung der Standzeit	55	
2.6.1.1	Temperatur-Standzeitversuch	55	
2.6.1.2	Verschleiß-Standzeitversuch	55	
2.7	Schneidstoffe	57	
2.7.1	Werkzeugstähle	57	
2.7.1.1	Unlegierte Werkzeugstähle	57	
2.7.1.2	Legierte Werkzeugstähle	57	
2.7.2	Hochleistungs-Schnellarbeitstähle	58	
2.7.3	Stellite	60	
2.7.4	Hartmetalle	60	
2.7.5	Schneidkeramik	62	

2.8 Kühl- und Schmierstoffe	64
Literatur zu Kapitel 2	66
3 Werkstücksystematik	71
3.1 Grundlagen der Werkstücksystematik.....	71
3.2 Ziele der Werkstücksystematik	73
3.2.1 Ziele des Anwenders von Werkzeugmaschinen in den Bereichen Kon- struktion und Arbeitsvorbereitung	75
3.2.2 Ziele des Anwenders von Werkzeugmaschinen in den Bereichen Ferti- gung und Montage.....	75
3.2.2.1 Planung von Fertigungsmitteln.....	76
3.2.2.2 Planung des Materialflusses	78
3.2.3 Anforderungen an Werkzeugmaschinen	80
3.3 Ermittlung und Interpretation der Daten.....".	81
3.4 Ergebnisse der Werkstücksystematik	84
3.4.1 Ergebnisse in den Bereichen Konstruktion und Arbeitsvorbereitung	84
3.4.2 Ergebnisse in den Bereichen Fertigung und Montage.....	85
3.4.2.1 Zeitliche Auslastung	87
3.4.2.2 Leistungsmäßige Auslastung	88
3.4.2.3 Räumliche Auslastung	89
3.4.2.4 Auslastung der Maschineneinrichtungen	90
3.4.2.5 Genauigkeit der Werkzeugmaschinen	91
3.4.2.6 Strukturierung der Fertigung	92
3.4.3 Qualität der Ergebnisse	93
Literatur zu Kapitel 3	96
4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Beschaffung spanender Werkzeugmaschi- nen	97
4.1 Grundbegriffe	97
4.1.1 Kostenbegriffe, Kostengliederung, Kostenfunktionen	98
4.1.1.1 Kosten und Leistungen für die Betriebsrechnung	98
4.1.1.2 Aufwände und Erträge für Geschäftsrechnung.....	98
4.1.1.3 Ausgaben und Einnahmen für Finanzierungs- und Liquiditäts- rechnung	98
4.1.2 Wirtschaftlichkeit	100
4.2 Investitionen als Wirtschaftlichkeitsprobelm	101
4.2.1 Investitionsarten	103
4.2.2 Investitionskriterien	104
4.2.3. Investitionsrechnungen	104
4.2.3.1 Dynamisches Verfahren	110
4.2.3.1.1 Kapitalwertmethode	110
4.2.3.1.2 Annuitätenmethode	110
4.2.3.1.3 Interne Zinssatzmethode (Rentabilitätsrechnung)	111
4.2.3.1.4 Amortisationsrechnung	113
4.2.3.2 Statische Verfahren	113
4.2.3.2.1 Gewinnvergleichsrechnung	113
4.2.3.2.2 Kostenvergleichsrechnung	114
4.2.3.2.3 Rentabilitätsrechnung	115
4.2.3.2.4 Amortisationsrechnung	117
4.2.3.2.5 Investitionsgrenzwertrechnung	118

4.2.4	Praxis der Investitionsrechnung	122
4.2.4.1	Rentabilitäts-und Amortisationsrechnungen für Projekte	123
4.2.4.2	Investitionsrechnung für Einzweckmaschinen	126
4.2.4.3	Investitionsrechnung für Vielzweckanlagen	130
4.3	Kostenrechnung als Entscheidungshilfe	132
4.3.1	Platzkostenrechnung (Maschinenstundensatz)	134
4.3.2	Eigenfertigung oder Fremdbezug	137
4.3.3	Einschicht-oder Mehrschichtbetrieb	137
4.3.4	Einstellen-oder Mehrstellenarbeit	139
4.3.5	Wirtschaftliche bzw. optimale Losgröße	140
4.3.6	Wirtschaftliche bzw. optimale Schnittgeschwindigkeit	142
4.4	Wirtschaftliche Orientierungsdaten	143
Literatur	zu Kapitel 4	146
5	Drehen	147
5.1	Allgemeines	147
5.2	Übersicht der Drehverfahren	149
5.3	Übersicht der Drehmaschinen	154
5.3.1	Einteilungsgesichtspunkte	154
5.3.2	Universaldrehmaschinen	155
5.3.3	Revolverdrehmaschinen	155
5.3.4	Drehautomaten	156
5.3.5	Nachformdrehmaschinen	157
5.3.6	Karusselldrehmaschinen	157
5.3.7	Frontdrehmaschinen	157
5.3.8	Sonderdrehmaschinen	157
5.4	Berechnungsverfahren	158
5.4.1	Kinematik	158
5.4.2	Zerspankraftkomponenten	158
5.4.3	Zerspanleistung	159
5.4.4	Hauptzeit	161
5.5	Werkstückaufnahme beim Drehen	165
5.5.1	Allgemeine Forderungen	165
5.5.2	Spannmöglichkeiten umlaufender Werkstücke	166
5.5.3	Handspannfutter	168
5.5.4	Kraftspannfutter	169
5.5.5	Spannzangen	172
5.5.6	Spanndorne	173
5.5.7	Mitnehmer	175
5.5.8	Sonderspanneinrichtungen	176
5.5.9	Betätigungselemente für Kraftspanneinrichtungen	178
5.5.10	Arbeits-und Unfallsicherheit	180
5.5.11	Berechnungsgrundlagen	180
5.5.12	Anwendungsbreite neuzeitlicher Drehfutter	185
5.6	Werkzeuge zum Drehen	186
5.6.1	Allgemeines	186
5.6.2	Drehwerkzeuge mit Schneiden aus Schnellarbeitsstahl	189
5.6.3	Drehwerkzeuge mit Schneiden aus Hartmetall	189
5.6.4	Drehwerkzeuge mit Schneiden aus Schneidkeramik	195
5.6.5	Drehwerkzeuge mit Diamantschneiden und Schneiden aus polykristallinen Stoffen	196

5.7	Bearbeitung auf Drehmaschinen	198
5.7.1	Universaldrehmaschinen	198
5.7.1.1	Allgemeines	198
5.7.1.2	Konstruktiver Aufbau	202
5.7.1.3	Werkzeuge und Zusatzeinrichtungen	206
5.7.1.4	Steuerung der Arbeitsabläufe	206
5.7.1.5	Bearbeitungsbeispiele	208
5.7.2	Revolverdrehmaschinen	213
5.7.2.1	Allgemeines	213
5.7.2.2	Konstruktiver Aufbau	214
5.7.2.3	Revolverköpfe	218
5.7.2.4	Arbeitsbeispiele	223
5.7.3	Einspindeldrehautomaten	229
5.7.3.1	Kurvengesteuerte Einspindeldrehautomaten	229
5.7.3.1.1	Arbeitsweise und konstruktiver Aufbau	229
5.7.3.1.2	Zusatzeinrichtungen	235
5.7.3.1.3	Auswahlkriterien und Arbeitsbeispiele	238
5.7.3.1.4	Kurven- und Stückzeitberechnung	241
5.7.3.2	Programmgesteuerte Einspindeldrehautomaten	242
5.7.3.2.1	Arbeitsweise	242
5.7.3.2.2	Zusatzeinrichtungen	246
5.7.3.2.3	Herstellbare Formelemente und Arbeitsbeispiele	250
5.7.3.2.4	Programmierung und Wirtschaftlichkeit	252
5.7.4	Langdrehautomaten	256
5.7.4.1	Arbeitsbereich, Verfahren und konstruktiver Aufbau	256
5.7.4.2	Werkzeug- und Zusatzeinrichtungen	258
5.7.4.3	Auswahlkriterien und Arbeitsbeispiele	259
5.7.5	Mehrspindeldrehautomaten	262
5.7.5.1	Einteilung	262
5.7.5.2	Konstruktiver Aufbau der Mehrspindeldrehautomaten	264
5.7.5.2.1	Maschinenaufbau	264
5.7.5.2.2	Zusatzeinrichtungen	269
5.7.5.3	Werkzeugeinrichtungen für Mehrspindeldrehautomaten	272
5.7.5.3.1	Allgemeines	272
5.7.5.3.2	Werkzeugeinrichtungen zum Drehen	277
5.7.5.3.3	Werkzeugeinrichtungen zum Bohren, Senken und Reiben	279
5.7.5.3.4	Sonstige Werkzeugeinrichtungen	280
5.7.5.4	Automatische Werkstückhandhabung	280
5.7.5.4.1	Allgemeines	280
5.7.5.4.2	Werkstückhandhabungen an Stangenautomaten	281
5.7.5.4.3	Werkstückhandhabung an Futterautomaten	282
5.7.5.5	Arbeitsbeispiele	285
5.7.5.6	Mehrspindeldrehautomaten mit umlaufenden Werkzeugen	290
5.7.5.6.1	Arbeitsweise und konstruktiver Aufbau	290
5.7.5.6.2	Werkzeugeinrichtungen für die Bearbeitung mit umlaufenden Werkzeugen	296
5.7.5.6.3	Werkstückhandhabung an Mehrspindeldrehautomaten mit umlaufenden Werkzeugen	297
5.7.6	Nachformdrehmaschinen	299
5.7.6.1	Arbeitsweise und konstruktiver Aufbau	299
5.7.6.2	Nachformsysteme	304

5.7.6.3	Auswahlkriterien und Arbeitsbeispiele	307
5.7.7	Karusselldrehmaschinen	311
5.7.7.1	Bauformen der Karusselldrehmaschinen und ihre Arbeitsweise	311
5.7.7.2	Konstruktive Gestaltung von Karusselldrehmaschinen	314
5.7.7.3	Werkzeugeinrichtungen und Spannmittel	316
5.7.8	Frontdrehmaschinen	319
5.7.8.1	Allgemeines	319
5.7.8.2	Konstruktiver Aufbau der Frontdrehmaschine.....	321
5.7.8.3	Beschickungseinrichtungen	325
5.7.8.4	Zusatzeinrichtungen	329
5.7.8.5	Arbeitsbeispiele	330
5.7.9	Sonderdrehmaschinen	334
5.7.9.1	Allgemeines	334
5.7.9.2	Turbinenscheiben-Drehmaschine	334
5.7.9.3	Zylinderbuchsen-Drehmaschine	337
5.7.9.4	Sonderdrehmaschine für Rohr-Innen-und Außenbearbeitung ..	338
5.7.9.5	Walzenzapfen-Drehmaschine	339
5.7.9.6	Blockabstech-Drehmaschine	341
5.7.9.7	Kurbelwellen-Drehmaschinen	342
5.7.9.8	Plandrehmaschinen	344
	Literatur zu Kapitel 5	345
6	Bohren, Senken, Reiben	351
6.1	Allgemeines	351
6.2	Übersicht der Bohrverfahren	352
6.2.1	Begriffe und deren Erklärung	352
6.2.2	Richtlinien für die Bohrzerspanung	354
6.3	Übersicht der Bohrmaschinen	354
6.4	Berechnungsverfahren	357
6.4.1	Schneidengeometrie	357
6.4.2	Zerspankräfte beim Bohren	358
6.5	Werkstückaufnahme, Bohrvorrichtungen	362
6.5.1	Einleitung	362
6.5.2	Bohrvorrichtung	362
6.5.2.1	Verwendung von Standard-Elementen	363
6.5.2.2	Verwendung von Spezial-Elementen	364
6.5.2.3	Anpassung an die Werkstück-Qualität	365
6.5.3	Haltesysteme	367
6.5.3.1	Mechanische Halterung	367
6.5.3.2	Pneumatische Halterungen	367
6.5.3.3	Hydraulische Halterungen	367
6.5.3.4	Kombinierte Halterungen	368
6.5.4	Einfluß der Werkstück-Beschaffenheit	370
6.5.4.1	Unbearbeitete Rohteile	370
6.5.4.2	Halbzeug	371
6.5.4.3	Vorbearbeitete Werkstücke	371
6.5.4.4	Formänderungsfestigkeit der Werkstücke	372
6.6	Werkzeuge und Werkzeugaufnahmen	373
6.6.1	Werkzeuge	373
6.6.1.1	Werkzeuge für das Bohren.....	373
6.6.1.1.1	Spiralbohrer	373

	6.6.1.1.2 Spitzbohrer oder Bohrmesser	380
	6.6.1.1.3 Tiefbohrwerkzeuge	381
	6.6.1.1.4 Aufbohrer	382
	6.6.1.1.5 Bohrstangen	382
	6.6.1.2 Werkzeuge für das Senken	383
	6.6.1.3 Werkzeuge für das Reiben	384
6.6.2	Werkzeugaufnahmen	385
	6.6.2.1 Bohrfutter	385
	6.6.2.2 Aufnahmhülsen und Klemmhülsen	386
	6.6.2.3 Stellhülsen	386
	6.6.2.4 Werkzeugsysteme	387
6.7	Bearbeitung auf Bohrmaschinen	387
6.7.1	Einspindelige Ständerbohrmaschinen	387
6.7.2	Mehrspindelige Bohrmaschinen	391
	6.7.2.1 Allgemeines	391
	6.7.2.2 Konstruktiver Aufbau	391
	6.7.2.3 Maschinengebundene Ausrüstungsteile	395
	6.7.2.4 Einsatz von Mehrspindel-Bohrmaschinen	396
	6.7.2.5 Erzielbare Toleranzen und Oberflächengüten	397
	6.7.2.6 Wirtschaftlichkeit von Mehrspindel-Bohrmaschinen	398
6.7.3	Radialbohrmaschinen	400
	6.7.3.1 Bearbeitungsaufgabe	400
	6.7.3.2 Maschinenaufbau	401
	6.7.3.3 Spezielle Bearbeitungsaufgaben	404
	6.7.3.4 Rationalisierungs- bzw. Automatisierungsmaßnahmen	404
6.7.4	Feinbohrmaschinen	406
	6.7.4.1 Definition und Abgrenzung des Feinbohrens gegen andere Be- arbeitungsverfahren	406
	6.7.4.2 Maschinenaufbau	407
	6.7.4.3 Feinbohrwerkzeuge	409
	6.7.4.4 Werkstückspannvorrichtungen	410
	6.7.4.5 Herstellbare Formelemente und Fertigungsteile	411
	6.7.4.6 Erreichbare Maß-, Form- und Lagetoleranzen	411
	6.7.4.7 Erreichbare Oberflächengüte	413
	6.7.4.8 Zusatz- und Sondereinrichtungen	414
	6.7.4.9 Vor- und nachgeschaltete Fertigungsschritte	417
	6.7.4.10 Automatisierung	417
	6.7.4.11 Wirtschaftliche Stückzahlen	417
6.7.5	Koordinatenbohrmaschinen	418
	6.7.5.1 Geschichtliche Entwicklung	418
	6.7.5.2 Ausführungsarten	418
	6.7.5.3 Grundbedingungen zur Erreichung sehr hoher Genauigkeit	418
	6.7.5.4 Meßsysteme	420
	6.7.5.5 Typische Genauigkeitsangaben	421
	6.7.5.6 Anwendungsbeispiele	421
6.7.6	Tiefbohrmaschinen	422
	6.7.6.1 Bauweisen	422
	6.7.6.2 Arbeitsergebnisse	424
	6.7.6.3 Tiefbohren mit Ausspänen	424
	6.7.6.4 Werkstückaufnahme und Sondereinrichtungen	425
	6.7.6.5 Anwendungsfälle	426
	6.7.6.6 Kühlung und Schmierung	427

6.7.7	Sonderbohrmaschinen	428
Literatur	zu Kapitel 6	431
7	Fräsen	436
7.1	Allgemeines	436
7.2	Übersicht der Fräsverfahren	436
7.2.1	Fräsverfahren und erzeugbare Formelemente	436
7.2.2	Fräsen im Gleich-oder im Gegenlauf	440
7.2.3	Störquellen beim Fräsen (Rattern)	441
7.3	Übersicht der Fräsmaschinen	441
7.3.1	Gemeinsame Anforderungen an alle Bauarten	441
7.3.2	Bauformen von Fräsmaschinen	442
7.4	Berechnungsverfahren	451
7.4.1	Allgemeines	451
7.4.2	Kräfte am Werkzeug	453
7.4.3	Schnitt- und Antriebsleistung	454
7.5	Werkstückaufnahme	455
7.5.1	Anforderungen an die Werkstückaufnahme	455
7.5.2	Ausführungsbeispiele für Werkstückaufnahmen und deren Elemente	456
7.6	Werkzeuge und Werkzeugaufnahmen für die Fräsbearbeitung	463
7.6.1	Benennungen und Begriffe	464
7.6.2	Schneidstoffe	465
7.6.3	Werkzeugarten und -typen	465
7.6.4	Werkzeug- und Schneidengeometrie	466
7.6.5	Werkzeugaufnahmen	469
7.6.6	Konstruktive Gestaltung	470
7.7	Bearbeitung auf Fräsmaschinen	473
7.7.1	Konsolfräsmaschinen	473
7.7.1.1	Bauarten, Merkmale und Baugrößen	473
7.7.1.2	Werkstückspektrum	475
7.7.1.3	Werkzeugträger	475
7.7.1.4	Werkstückträger	477
7.7.1.5	Automatisierungsstufen	479
7.7.2	Bettfräsmaschinen	480
7.7.2.1	Bauarten von Bettfräsmaschinen	480
7.7.2.1.1	Merkmale der Bettfräsmaschine	480
7.7.2.1.2	Einteilung der Bettfräsmaschinen nach Spindel- und Achsanordnung	481
7.7.2.1.3	Einteilung nach der Bearbeitungsaufgabe	482
7.7.2.1.4	Baureihen und Baukastensysteme	484
7.7.2.1.5	Konstruktive Gestaltung der Bettfräsmaschine	484
7.7.2.2	Bearbeitungen auf Bettfräsmaschinen	485
7.7.2.2.1	Durchführbare Bearbeitungsarten	485
7.7.2.2.2	Herstellbare Formelemente	486
7.7.2.2.3	Steuerung	486
7.7.2.2.4	Zusatzeinrichtungen	487
7.7.2.2.5	Bearbeitungsergebnisse mit Bettfräsmaschinen	488
7.7.2.2.6	Beispiele für Bearbeitungen auf Bettfräsmaschinen	488
7.7.3	Bohr- und Fräswerke - Langfräsmaschinen	491
7.7.3.1	Konstruktiver Aufbau der Maschinen	491
7.7.3.1.1	Übersicht	491

	7.7.3.1.2	Bett und Tisch mit Tischantrieb	494
	7.7.3.1.3	Gestaltung des beweglichen Querbalkens und dessen Antriebs.	496
	7.7.3.1.4	Frässupporte.	497
	7.7.3.1.5	Vorschubantriebe.	497
	7.7.3.1.6	Ausrüstungen und Zusatzeinrichtungen.	498
	7.7.3.2	Anwendung der Maschinen.	501
	7.7.3.2.1	Abmessungsbereiche der Maschinen.	501
	7.7.3.2.2	Maschinenleistungen	502
	7.7.3.2.3	Erzielbare Maß- und Formtoleranzen	503
	7.7.3.2.4	Erzielbare Oberflächengüte.	504
	7.7.3.2.5	Automatisierung.	506
	7.7.3.2.6	Numerische Steuerung und Programmierung.....	508
7.7.4		Universal-Werkzeugfräsmaschinen.	509
	7.7.4.1	Bauformen.	509
	7.7.4.2	Hauptspindeln und Antrieb.	510
	7.7.4.2.1	Anordnung der Hauptspindel.	510
	7.7.4.2.2	Antrieb der Hauptspindel.	511
	7.7.4.3	Vorschub und dessen Antrieb.....	512
	7.7.4.4	Maschineneigene Meßmittel.	513
	7.7.4.5	Werkzeugträger.	513
	7.7.4.6	Werkstückträger.	515
	7.7.4.7	Automatisierung.	517
7.7.5		Nachformfräsmaschinen.	519
	7.7.5.1	Nachformprinzipien.	519
	7.7.5.1.1	Nachformfräsen ohne Verstärker.	519
	7.7.5.1.2	Nachformfräsen mit Verstärker.	520
	7.7.5.2	Steuerungsmethoden.	520
	7.7.5.3	Verschiedene Nachformfräsverfahren.	523
	7.7.5.4	Bauformen von Nachformfräsmaschinen.	523
	7.7.5.4.1	Senkrechte Anordnung	524
	7.7.5.4.2	Waagerechte Anordnung.	525
	7.7.5.5	Spiegelbild-Nachformfräsen.	526
	7.7.5.6	Nachformgenauigkeit	526
	7.7.5.7	Nachbearbeiten nachformgefräster Flächen.	527
7.7.6		Waagrecht-Bohr- und Fräsmaschinen.	528
	7.7.6.1	Bauformen und konstruktive Merkmale.	528
	7.7.6.2	Bearbeitungsmöglichkeiten.	533
7.7.7		Bearbeitungszentren.	540
	7.7.7.1	Definition.	540
	7.7.7.2	Fertigungsaufgaben.	541
	7.7.7.3	Bauarten von Bearbeitungszentren.	542
	7.7.7.3.1	Einteilung nach der Gestellbauform.	545
	7.7.7.3.2	Einteilung nach Hauptspindel- und Achsanordnung	545
	7.7.7.3.3	Konstruktive Merkmale von Bearbeitungszentren	550
	7.7.7.4	Maßnahmen zur Erzielung der geforderten Arbeitsgenauigkeit	550
	7.7.7.5	Zusatz- und Sondereinrichtungen.	553
	7.7.7.6	Numerische Steuerungen und Programmierung.	556
	7.7.7.6.1	Steuerungsarten.	556
	7.7.7.6.2	Korrekturmöglichkeiten.	556
	7.7.7.6.3	Anpaßsteuerung.	556
	7.7.7.6.4	CNC-Steuerung.	557

7.7.7.6.5	DNC-Steuerung	557
7.7.7.6.6	Programmierung	558
7.7.7.7	Wirtschaftliche Stückzahlbereiche	558
7.7.7.8	Fertigungssysteme	559
7.7.8	Sonderfräsmaschinen	562
7.7.8.1	Rotornutenfräsmaschine	562
7.7.8.2	Rundfräsmaschinen für Kurbelwellen	564
7.7.8.3	NC-Sonderfräsmaschinen zur Herstellung von Flugzeugteilen	566
7.7.8.4	Kurbelhubfräswerk	568
7.7.8.5	Schaufelnuten-Fräsmaschine	570
7.7.8.6	Frässtraße für Walzbarren	570
Literatur	zu Kapitel 7	571
Bildnachweis		
		577
Sachwortregister		
		579
Anzeigenanhang		
		593

Inhaltsübersicht zu Band 3, Teil 2

- 8 Hobeln, Stoßen
- 9 Räumen
- 10 Sägen
- 11 Feilen, Rollieren
- 12 Schaben
- 13 Schleifen
- 14 Honen
- 15 Läppen
- 16 Spanende Verzahnungsherstellung
- 17 Spanende Gewindeherstellung
- 18 Zerspanen von Sonderwerkstoffen
- 19 Zerspanen von Kunststoffen

Handbuch der Fertigungstechnik

Herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. Günter Spur
und Prof. Dr.-Ing. Theodor Stöferle t

Band 3/2

Spanen

Mit 654 Bildern und 79 Tabellen

Carl Hanser Verlag München Wien 1980

Inhalt

8 Hobeln, Stoßen	1
8.1 Allgemeines	1
8.2 Übersicht der Hobel- und Stoßverfahren	1
8.3 Übersicht der Hobel- und Stoßmaschinen	3
8.4 Berechnungsverfahren	6
8.4.1 Leistungsbedarf	6
8.4.2 Zeitbestimmung	12
8.4.3 Bestimmung von Haupt- und Nebenzeiten	15
8.5 Werkstückaufnahme	15
8.6 Werkzeuge und Werkzeugaufnahme	16
8.7 Bearbeitung auf Hobel- und Stoßmaschinen	19
8.7.1 Hobelmaschinen	19
8.7.1.1 Allgemeines	19
8.7.1.2 Bauarten von Hobelmaschinen	19
8.7.1.3 Verfahrenskombination	21
8.7.1.4 Typische Werkstückformen	22
8.7.1.5 Abmessungsbereiche von Standard-Maschinen	23
8.7.1.6 Maß- und Formgenauigkeit und Oberflächengüte	24
8.7.1.7 Weitere Bearbeitungsmöglichkeiten	25
8.7.1.8 Automatisierung des Programmablaufs	26
8.7.2 Waagrecht-Stoßmaschinen	26
8.7.2.1 Allgemeines	26
8.7.2.2 Mechanisch angetriebene Waagrecht-Stoßmaschine	28
8.7.2.3 Hydraulisch angetriebene Waagrecht-Stoßmaschine	28
8.7.2.4 Betriebsverhalten	28
8.7.2.5 Erzielbare Maß- und Formgenauigkeit und Oberflächengüte	29
8.7.2.6 Nachformstoßen	30
8.7.3 Senkrecht-Stoßmaschine	32
8.7.3.1 Allgemeines	32
8.7.3.2 Bauarten von Senkrechtstoßmaschinen	32
8.7.4 Sonderbauarten von Hobel- und Stoßmaschinen	34
Literatur zu Kapitel 8	38
9 Räumen	39
9.1 Allgemeines	39
9.2 Übersicht der Räumverfahren	40
9.3 Übersicht der Räummaschinen	42
9.4 Berechnungsverfahren	42
9.4.1 Zerspankräfte	42
9.4.2 Schneidengeometrie	45
9.4.3 Zerspanleistung und Maschinenauslegung	48
9.5 Werkstückaufnahme	49
9.6 Räumwerkzeuge	50
9.6.1 Allgemeines	50
9.6.2 Staffelung und Gefälle	52
9.6.3 Ausführungsformen von Räumwerkzeugen	53
9.6.4 Werkzeugbefestigung	56

9.6.5	Werkzeugverschleiß	56
9.6.6	Werkzeuginstandhaltung	58
9.7	Bearbeitung auf Räummaschinen	60
9.7.1	Allgemeines	60
9.7.2	Innen-Räummaschinen	63
9.7.3	Außen-Räummaschinen	68
9.7.4	Kettenräummaschinen	72
9.7.5	Sonderräummaschinen	74
	Literatur zu Kapitel 9	75
10	Sägen	77
10.1	Allgemeines	77
10.2	Bearbeitbare Werkstoffe	79
10.3	Übersicht der Sägeverfahren	79
10.4	Übersicht der Sägemaschinen	80
10.4.1	Hubsägemaschinen	80
10.4.2	Bandsägemaschinen	81
10.4.3	Kaltkreissägemaschinen	83
10.4.4	Kettensägemaschinen	85
10.5	Be- und Entladeeinrichtungen	85
10.6	Wirtschaftlichkeit	85
	Literatur zu Kapitel 10	86
11	Feilen, Rollieren	87
11.1	Allgemeines	87
11.2	Übersicht der Feilverfahren	87
11.3	Werkzeuge für die Feilbearbeitung	89
11.3.1	Grundlagen und Begriffe	89
11.3.2	Einteilungsgesichtspunkte	90
11.4	Feilen	93
11.5	Rollieren	94
	Literatur zu Kapitel 11	98
12	Schaben	99
12.1	Allgemeines	99
12.2	Übersicht der Schabverfahren	99
12.3	Werkzeuge und Zubehör	100
12.3.1	Handwerkzeuge	100
12.3.2	Maschinenwerkzeuge	101
12.3.3	Zubehör und Meßzeuge	102
12.4	Schabbearbeitung	103
12.5	Kosten der Schabbearbeitung	106
	Literatur zu Kapitel 12	106
13	Schleifen	107
13.1	Allgemeines	107
13.2	Übersicht der Schleifverfahren	112
13.3	Übersicht der Schleifmaschinen	114
13.3.1	Einteilungsgesichtspunkte	114

13.3.2	Rundschleifmaschinen	.115
13.3.3	Flachschleifmaschinen	.116
13.3.4	Trennschleifmaschinen	.116
13.3.5	Werkzeugschleifmaschinen	.116
13.3.6	Sonderschleifmaschinen	.116
13.3.7	Bandschleifmaschinen	.117
13.4	Berechnungsverfahren	.117
13.4.1	Mechanik des Schleifvorgangs	.117
13.4.2	Definition der Schleifkenngrößen	.120
13.4.3	Zerspankraftkomponenten	.121
13.4.4	Zerspantemperatur	.123
13.4.5	Verschleiß der Schleifscheibe und Einfluß des Kühlschmierstoffs	.125
13.4.6	Oberflächenrauheit	.128
13.5	Werkstückaufnahme	.131
13.5.1	Außenrundscheifen	.131
13.5.2	Innenrundscheifen	.133
13.5.3	Flachschleifen	.133
13.5.4	Spitzenloses Schleifen	.135
13.6	Schleifwerkzeuge und Werkzeugaufnahme	.135
13.6.1	Aufbau von Schleifkörpern	.135
13.6.2	Werkzeugaufnahme	.141
13.6.3	Auswuchten	.143
13.6.4	Abrichten	.144
13.6.5	Schutzeinrichtungen beim Schleifen	.145
13.7	Bearbeitung mit Schleifscheiben	.149
13.7.1	Außenrundscheifmaschinen	.149
13.7.1.1	Allgemeines	.149
13.7.1.2	Konstruktiver Maschinenaufbau	.149
13.7.1.3	Herstellbare Formelemente und Fertigteile	.151
13.7.2	Innenrundscheifmaschinen	.157
13.7.2.1	Allgemeines	.157
13.7.2.2	Bauarten von Innenrundscheifmaschinen	.158
13.7.2.3	Konstruktiver Aufbau einer Waagrecht-Innenrundscheifmaschine	.160
13.7.2.4	Besonderheiten des Innenrundscheifens	.162
13.7.2.5	Bearbeitungsmöglichkeiten mit Zusatzeinrichtungen	.166
13.7.3	Spitzenlose Außenrundscheifmaschinen	.169
13.7.3.1	Allgemeines	.169
13.7.3.2	Bauarten spitzenloser Rundschleifmaschinen	.171
13.7.3.3	Maschinenaufbau	.172
13.7.3.4	Werkzeuge, Regelscheibe, Werkstückauflage und Abrichteinrichtung	.173
13.7.3.5	Arbeitsbereich und Arbeitsgenauigkeit	.173
13.7.3.6	Programmsteuerung und Automatisierung	.176
13.7.4	Flachschleifmaschinen	.182
13.7.4.1	Allgemeines	.182
13.7.4.2	Bauarten	.182
13.7.4.3	Maschinenaufbau	.184
13.7.4.4	Ausführung des Flachschleifens	.185
13.7.4.5	Stirnschleifmaschinen (Seitenschleifmaschinen)	.189
13.7.4.6	Automatisierung	.192

13.7.5	Trennschleifmaschinen	194
13.7.5.1	Allgemeines	194
13.7.5.2	Anwendung des Trennschleifens	195
13.7.5.3	Theoretische Kennwerte und Einflußgrößen	197
13.7.5.4	Trennschleifen und Umweltschutz	210
13.7.5.5	Arbeitsweisen beim Trennschleifen metallischer Werkstoffe	202
13.7.5.6	Automatisierung	204
13.7.6	Werkzeugschleifmaschinen	209
13.7.6.1	Allgemeines	209
13.7.6.2	Übersicht der Werkzeugschleifmaschinen	209
13.7.6.3	Werkstückaufnahmen, Vorrichtungen, Schleifscheiben	210
13.7.6.4	Scharf schleifen von Werkzeugen	211
13.7.7	Sonderschleifmaschinen	226
13.7.7.1	Walzenschleifmaschinen	226
13.7.7.2	Doppel-Einsteichschleifmaschine	232
13.7.7.3	Nockenwellenschleifmaschine	232
13.7.7.4	Kurbelwellenschleifmaschinen	234
13.7.7.5	Führungsbahnenschleifmaschinen	238
13.8	Bearbeitung mit Schleifmitteln auf Unterlagen	249
13.8.1	Allgemeines	249
13.8.2	Übersicht über die Schleifverfahren	252
13.8.3	Theoretische Kenngrößen	263
13.8.4	Einflußgrößen beim Schleifen	266
13.8.5	Werkzeuge aus Schleifmitteln auf Unterlagen und zugehörige Spann- oder Stützelemente	276
13.8.5.1	Allgemeines	276
13.8.5.2	Werkzeugarten und Abmessungen	277
13.8.5.3	Werkzeugschleifflächengestalt	281
13.8.6	Schleifmaschinen für Schleifwerkzeuge aus Schleifmitteln auf Unterlagen	284
13.8.6.1	Allgemeines	284
13.8.6.2	Planschleifmaschinen	285
13.8.6.3	Rundschleifmaschinen	285
13.8.6.4	Formschleifmaschinen	286
13.8.6.5	Maschinen zum Fein- und Strukturschleifen	287
	Literatur zu Kapitel 13	288
14	Honen	294
14.1	Allgemeines	294
14.1.1	Einführung	294
14.1.2	Kinematik beim Langhubhonen	295
14.1.3	Kinematik beim Kurzhubhonen (Superfinish)	296
14.2	Übersicht der Honverfahren	296
14.2.1	Langhubhonen	296
14.2.2	Kurzhubhonen	298
14.2.3	Planhonen	301
14.2.4	Elektrochemisches Honen	302
14.3	Übersicht der Honmaschinen	302
14.3.1	Langhubhonmaschinen	302
14.3.2	Kurzhubhonmaschinen	307

14.4	Berechnungsverfahren	308
14.4.1	Langhubhonen	308
14.4.1.1	Hublänge und Schnittgeschwindigkeit	308
14.4.1.2	Schnittkräfte	310
14.4.1.3	Anpreßdruck	312
14.4.1.4	Bearbeitungszugaben und Honzeit	313
14.4.1.5	Oberflächenrauigkeit	314
14.4.1.6	Zeitspannungsvolumen	316
14.4.2	Kurzhubhonen	317
14.5	Werkstückaufnahme	317
14.5.1	Langhubhonen	317
14.5.2	Kurzhubhonen	322
14.6	Werkzeuge und Werkzeugaufnahmen	322
14.6.1	Werkzeuganordnung	322
14.6.2	Innenhonwerkzeuge	323
14.6.3	Außenhonwerkzeuge	327
14.6.4	Honbeläge	327
14.6.5	Kühlschmierstoffe	329
14.7	Bearbeitung auf Honmaschinen	330
14.7.1	Langhubhonmaschinen	330
14.7.1.1	Allgemeines	330
14.7.1.2	Senkrecht-Langhubhonmaschinen	333
14.7.1.2.1	Konstruktiver Aufbau	333
14.7.1.2.2	Zusatzeinrichtungen	337
14.7.1.2.3	Arbeitsbeispiele	342
14.7.1.3	Waagrecht-Langhubhonmaschinen	348
14.7.1.4	Sonder-Langhubhonmaschinen	350
14.7.2	Kurzhubhonmaschinen	353
14.7.2.1	Allgemeines	353
14.7.2.2	Kurzhubhongeräte	354
14.7.2.3	Spitzen-Kurzhubhonmaschinen	355
14.7.2.5	Kombinierte Kurzhubhonmaschinen	356
14.7.2.6	Kurzhub-Bandhonmaschinen	357
	Literatur zu Kapitel 14	361
15	Läppen	366
15.1	Allgemeines	366
15.2	Übersicht der Läppverfahren	367
15.2.1	Läppen auf Läppmaschinen	367
15.2.2	Sonderverfahren	368
15.2.3	Polieren, Kantenverrunden, Entgraten	369
15.3	Prinzipieller Aufbau von Läppmaschinen	370
15.3.1	Einscheibenläppmaschinen	370
15.3.2	Zweischeibenläppmaschinen	371
15.3.3	Innenläppmaschinen	372
15.4	Bearbeitungsparameter	373
15.4.1	Bearbeitungsart und Maschinenauswahl	373
15.4.2	Läppmittel	373
15.4.3	Flächenbelastung und Läppgeschwindigkeit	375
15.4.4	Werkstückaufmaße	375
15.5	Werkstückaufnahme	376

15.6	Werkzeuge, Läppmittel	377
15.7	Bearbeitung auf Läppmaschinen	378
15.8	Automatisierung	383
	Literatur zu Kapitel 15	383
16	Spanende Verzahnungsherstellung	384
16.1	Allgemeines	384
16.2	Bestimmungsgrößen und Benennungen	387
16.2.1	Zylinderräder	387
16.2.2	Kegelräder	391
16.2.3	Schnecken	395
16.2.4	Schneckenräder	398
16.3	Übersicht der spanenden Verzahnungsmaschinen	399
16.3.1	Wälzfräsmaschinen	399
16.3.2	Profilfräsmaschinen	408
16.3.3	Wälzhobel- und Wälzstoßmaschinen	410
16.3.4	Zahnradräummaschinen	412
16.3.5	Wälzschälmaschinen	415
16.3.6	Zahnradschabmaschinen	417
16.3.7	Zahnflankenschleifmaschinen	418
16.3.8	Profilschleifmaschinen	424
16.3.9	Zahnradhonmaschinen	425
16.3.10	Zahnradläppmaschinen	425
16.4	Bearbeitung auf Fräsmaschinen	426
16.4.1	Wälzfräsen von Zylinderrädern	426
16.4.1.1	Allgemeines	426
16.4.1.2	Maschinenaufbau	431
16.4.1.3	Berechnungsverfahren	432
16.4.1.4	Besonderheiten beim Wälzfräsen von Zylinderrädern	437
16.4.2	Profilfräsen von Zylinderrädern	438
16.4.3	Wälzfräsen von Kegelrädern	442
16.4.3.1	Teilwälzfräsen von Kegelrädern	442
16.4.3.2	Kontinuierliches Wälzfräsen von Kegelrädern	447
16.4.4	Profilfräsen von Kegelrädern	452
16.4.5	Sonderverfahren zur Herstellung von Kegelrädern	453
16.4.6	Herstellen von Schnecken	457
16.4.7	Herstellen von Schneckenrädern	459
16.4.8	Fräswerkzeuge für die Verzahnungsherstellung	462
16.4.8.1	Allgemeines	462
16.4.8.2	Wälzfräser zur Herstellung von Zylinderrädern mit Evolventenflanken	463
16.4.8.3	Wälzfräser zur Herstellung von Schneckenrädern	466
16.4.8.4	Messerköpfe zur Herstellung von Kegelrädern	466
16.4.8.5	Werkzeugverschleiß	468
16.5	Bearbeitung auf Hobel- und Stoßmaschinen	474
16.5.1	Herstellen von Zylinderrädern	474
16.5.1.1	Wälzstoßen mit Kammeißel	474
16.5.1.1.1	Allgemeines	474
16.5.1.1.2	Maschinenaufbau	475
16.5.1.1.3	Berechnungsverfahren	476
16.5.1.1.4	Werkzeuge	477

16.5.1.2	Wälzstoßen mit Schneidrad	479
16.5.1.2.1	Allgemeines	479
16.5.1.2.2	Maschinenaufbau	480
16.5.1.2.3	Sondermaschinen und Zusatzeinrichtungen	484
16.5.1.2.4	Bearbeitungsablauf	485
16.5.1.2.5	Werkzeuge und Arbeitsbeispiele	490
16.5.2	Herstellen von Kegelrädern	491
16.5.2.1	Wälzstoßen	491
16.5.2.2	Nachformstoßen	493
16.6	Bearbeitung auf Räummaschinen	494
16.7	Bearbeitung auf Wälzschälmaschinen	495
16.7.1	Wälzschälen von Innenverzahnungen	495
16.7.2	Wälzschälen von Schnecken	497
16.8	Bearbeitung auf Zahnflankenschleifmaschinen	498
16.8.1	Allgemeines	498
16.8.2	Herstellen von Zylinderrädern	499
16.8.2.1	Teilwälzschleifen mit Tellerschleifscheiben	499
16.8.2.2	Teilwälzschleifen mit Doppelkegelschleifscheibe	503
16.8.2.3	Kontinuierliches Wälzschleifen von Zahnrädern	504
16.8.2.4	Profilschleifen von Zahnrädern	507
16.8.3	Herstellen von Kegelrädern	508
16.9	Bearbeitung auf Zahnradlappmaschinen	508
	Literatur zu Kapitel 16	510
17	Spanende Gewindeherstellung	514
17.1	Allgemeines	514
17.2	Übersicht der Gewindeherstellverfahren	515
17.3	Übersicht der Maschinen zur Gewindeherstellung	517
17.4	Berechnungsverfahren und Begriffsbestimmungen	517
17.5	Werkzeuge, Werkzeug- und Werkstückaufnahme	524
17.6	Verfahren der spanenden Gewindeherstellung	524
17.6.1	Gewindedrehen	524
17.6.2	Gewindestrehlen	528
17.6.3	Gewindeschneiden	530
17.6.4	Gewindebohren	534
17.6.5	Gewidewirbeln	539
17.6.6	Gewindefräsen	543
17.6.6.1	Kurzgewindefräsen	544
17.6.6.2	Langgewindefräsen	546
17.6.7	Gewindeschleifen	546
17.6.7.1	Anwendungsgebiete	546
17.6.7.2	Arbeitsverfahren	548
17.6.7.3	Besonderheiten des Gewindeschleifens	551
17.6.7.4	Ausführung des Gewindeschleifens	552
17.6.7.5	Konstruktiver Aufbau von Gewindeschleifmaschinen	561
17.6.7.5.1	Allgemeines und Kinematik	561
17.6.7.5.2	Arbeitsbereiche	563
17.6.7.5.3	Automatisierungsgrad	563
17.6.7.5.4	Abrichteinrichtungen	564
17.6.7.5.5	Zusatzeinrichtungen	564
17.6.7.6	Arbeitsgenauigkeit	565
	Literatur zu Kapitel 17	566

18 Zerspanung von Sonderwerkstoffen und schwerzerspanbaren Werkstoffen.....	570
18.1 Einleitung	570
18.2 Hochschmelzende Werkstoffe	570
18.2.1 Wolfram und Wolframlegierungen	570
18.2.2 Molybdän und Molybdänlegierungen	572
18.2.3 Tantal und Tantallegierungen	575
18.2.4 Niob und Nioblegierungen	577
18.3 Kobalt und Kobaltlegierungen	578
18.4 Nickel und Nickelbasislegierungen	579
18.5 Titan und Titanlegierungen	587
Literatur zu Kapitel 18	591
19 Zerspanung von Kunststoffen	592
19.1 Entwicklung und Bedeutung der Kunststoffe	592
19.2 Anwendung spanend gefertigter Kunststoffteile.....	593
19.3 Zerspaneigenschaften der Kunststoffe	594
19.3.1 Allgemeines	594
19.3.2 Spanbildung und Spanformen	599
19.3.3 Oberflächengüte und Oberflächenstrukturen	605
19.3.4 Zerspantemperaturen	613
19.3.5 Zerspankräfte	615
19.3.6 Werkzeugverschleiß	621
19.3.7 Richtwerte für die Zerspannung von Kunststoffen	625
Literatur zu Kapitel 19	630
Bildnachweis	633
Sachwortregister	635
Anzeigenanhang	649

Inhaltsübersicht zu Band 3, Teil 1

1 Einführung in die Zerspantechnik
1.1 Geschichtliche Entwicklung
1.2 Bedeutung der Zerspantechnik
1.3 Grundbegriffe und Einteilung der spanenden Fertigungsverfahren
2 Grundlagen der Zerspanung
2.1 Kinematik des Zerspanvorgangs und Schneidkeilgeometrie
2.1.1 Kinematik
2.1.2 Schneidkeilgeometrie
2.2 Spanbildung und Spanarten
2.3 Spanformen
2.3.1 Beurteilung der Spanform
2.3.2 Einflußgrößen auf die Spanform
2.4 Beanspruchung des Schneidkeils
2.4.1 Mechanische Beanspruchung
2.4.2 Thermische Beanspruchung

- 2.5 Verschleiß am Schneidkeil
 - 2.5.1 Verschleißformen und -meßgrößen
 - 2.5.2 Verschleißursachen
- 2.6 Standzeit
 - 2.6.1 Zerspanversuche zur Ermittlung der Standzeit
- 2.7 Schneidstoffe
 - 2.7.1 Werkzeugstähle
 - 2.7.2 Hochleistungs-Schnellarbeitstähle
 - 2.7.3 Stellite
 - 2.7.4 Hartmetalle
 - 2.7.5 Schneidkeramik
- 2.8 Kühl- und Schmierstoffe

- 3 Werkstücksystematik
 - 3.1 Grundlagen der Werkstücksystematik
 - 3.2 Ziele der Werkstücksystematik
 - 3.2.1 Ziele des Anwenders von Werkzeugmaschinen in den Bereichen Konstruktion und Arbeitsvorbereitung
 - 3.2.2 Ziele des Anwenders von Werkzeugmaschinen in den Bereichen Fertigung und Montage
 - 3.2.3 Anforderungen an Werkzeugmaschinen
 - 3.3 Ermittlung und Interpretation der Daten
 - 3.4 Ergebnisse der Werkstücksystematik
 - 3.4.1 Ergebnisse in den Bereichen Konstruktion und Arbeitsvorbereitung
 - 3.4.2 Ergebnisse in den Bereichen Fertigung und Montage
 - 3.4.3 Qualität der Ergebnisse

- 4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die Beschaffung spanender Werkzeugmaschinen
 - 4.1 Grundbegriffe
 - 4.1.1 Kostenbegriffe, Kostengliederung, Kostenfunktionen
 - 4.1.2 Wirtschaftlichkeit
 - 4.2 Investitionen als Wirtschaftlichkeitsproblem
 - 4.2.1 Investitionsarten
 - 4.2.2 Investitionskriterien
 - 4.2.3 Investitionsrechnungen
 - 4.2.4 Praxis der Investitionsrechnung
 - 4.3 Kostenrechnung als Entscheidungshilfe
 - 4.3.1 Platzkostenrechnung (Maschinenstundensatz)
 - 4.3.2 Eigenfertigung oder Fremdbezug
 - 4.3.3 Einschicht- oder Mehrschichtbetrieb
 - 4.3.4 Einstellen- oder Mehrstellenarbeit
 - 4.3.5 Wirtschaftliche bzw. optimale Losgröße
 - 4.3.6 Wirtschaftliche bzw. optimale Schnittgeschwindigkeit
 - 4.4 Wirtschaftliche Orientierungsdaten

- 5 Drehen
 - 5.1 Allgemeines
 - 5.2 Übersicht der Drehverfahren
 - 5.3 Übersicht der Drehmaschinen

- 5.3.1 Einteilungsgesichtspunkte
- 5.3.2 Universaldrehmaschinen
- 5.3.3 Revolverdrehmaschinen
- 5.3.4 Drehautomaten
- 5.3.5 Nachformdrehmaschinen
- 5.3.6 Karusselldrehmaschinen
- 5.3.7 Frontdrehmaschinen
- 5.3.8 Sonderdrehmaschinen
- 5.4 Berechnungsverfahren
 - 5.4.1 Kinematik
 - 5.4.2 Zerspankraftkomponenten
 - 5.4.3 Zerspanleistung
 - 5.4.4 Hauptzeit
- 5.5 Werkstückaufnahme beim Drehen
 - 5.5.1 Allgemeine Forderungen
 - 5.5.2 Spannungsmöglichkeiten umlaufender Werkstücke
 - 5.5.3 Handspannfutter
 - 5.5.4 Kraftspannfutter
 - 5.5.5 Spannzangen
 - 5.5.6 Spanndorne
 - 5.5.7 Mitnehmer
 - 5.5.8 Sonderspanneinrichtungen
 - 5.5.9 Betätigungselemente für Kraftspanneinrichtungen
 - 5.5.10 Arbeits- und Unfallsicherheit
 - 5.5.11 Berechnungsgrundlagen
 - 5.5.12 Anwendungsbreite neuzeitlicher Drehfutter
- 5.6 Werkzeuge zum Drehen
 - 5.6.1 Allgemeines
 - 5.6.2 Drehwerkzeuge mit Schneiden aus Schnellarbeitsstahl
 - 5.6.3 Drehwerkzeuge mit Schneiden aus Hartmetall
 - 5.6.4 Drehwerkzeuge mit Schneiden aus Schneidkeramik
 - 5.6.5 Drehwerkzeuge mit Diamantschneiden und Schneiden aus polykristallinen Stoffen
- 5.7 Bearbeitung auf Drehmaschinen
 - 5.7.1 Universaldrehmaschinen
 - 5.7.2 Revolverdrehmaschinen
 - 5.7.3 Einspindeldrehautomaten
 - 5.7.4 Langdrehautomaten
 - 5.7.5 Mehrspindeldrehautomaten
 - 5.7.6 Nachformdrehmaschinen
 - 5.7.7 Karusselldrehmaschinen
 - 5.7.8 Frontdrehmaschinen
 - 5.7.9 Sonderdrehmaschinen
- 6 Bohren, Senken, Reiben
 - 6.1 Allgemeines
 - 6.2 Übersicht der Bohrverfahren
 - 6.2.1 Begriffe und deren Erklärung
 - 6.2.2 Richtlinien für die Bohrzerspannung
 - 6.3 Übersicht der Bohrmaschinen
 - 6.4 Berechnungsverfahren

- 6.4.1 Schneidengeometrie
- 6.4.2 Zerspankräfte beim Bohren
- 6.5 Werkstückaufnahme, Bohrvorrichtungen
 - 6.5.1 Einleitung
 - 6.5.2 Bohrvorrichtung
 - 6.5.3 Haltesysteme
 - 6.5.4 Einfluß der Werkstück-Beschaffenheit
- 6.6 Werkzeuge und Werkzeugaufnahmen
 - 6.6.1 Werkzeuge
 - 6.6.2 Werkzeugaufnahmen
- 6.7 Bearbeitung auf Bohrmaschinen
 - 6.7.1 Einspindelige Ständerbohrmaschinen
 - 6.7.2 Mehrspindelige Bohrmaschinen
 - 6.7.3 Radialbohrmaschinen
 - 6.7.4 Feinbohrmaschinen
 - 6.7.5 Koordinatenbohrmaschinen
 - 6.7.6 Tiefbohrmaschinen
 - 6.7.7 Sonderbohrmaschinen
- 7 Fräsen
 - 7.1 Allgemeines
 - 7.2 Übersicht der Fräsverfahren
 - 7.2.1 Fräsverfahren und erzeugbare Formelemente
 - 7.2.2 Fräsen im Gleich- oder im Gegenlauf
 - 7.2.3 Störquellen beim Fräsen (Rattern)
 - 7.3 Übersicht der Fräsmaschinen
 - 7.3.1 Gemeinsame Anforderungen an alle Bauarten
 - 7.3.2 Bauformen von Fräsmaschinen
 - 7.4 Berechnungsverfahren
 - 7.4.1 Allgemeine s
 - 7.4.2 Kräfte am Werkzeug
 - 7.4.3 Schnitt- und Antriebsleistung
 - 7.5 Werkstückaufnahme
 - 7.5.1 Anforderungen an die Werkstückaufnahme
 - 7.5.2 Ausführungsbeispiele für Werkstückaufnahmen und deren Elemente
 - 7.6 Werkzeuge und Werkzeugaufnahmen für die Fräsbearbeitung
 - 7.6.1 Benennungen und Begriffe
 - 7.6.2 Schneidstoffe
 - 7.6.3 Werkzeugarten und -typen
 - 7.6.4 Werkzeug- und Schneidengeometrie
 - 7.6.5 Werkzeugaufnahmen
 - 7.6.6 Konstruktive Gestaltung
 - 7.7 Bearbeitung auf Fräsmaschinen
 - 7.7.1 Konsolfräsmaschinen
 - 7.7.2 Bettfräsmaschinen
 - 7.7.3 Bohr- und Fräswerke - Langfräsmaschinen
 - 7.7.4 Universal-Werkzeugfräsmaschinen
 - 7.7.5 Nachformfräsmaschinen
 - 7.7.6 Waagrecht-Bohr- und Fräsmaschinen
 - 7.7.7 Bearbeitungszentren
 - 7.7.8 Sonderfräsmaschinen