

Studium und Praxis

Fertigungsverfahren

Band 4

Massivumformung

Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Wilfried König VDI

Prof. Dr.-Ing. Fritz Klocke VDI

Vierte, durchgesehene Auflage

VERLAG

Inhalt

Formelzeichen und Abkürzungen	1
1 Einleitung	5
2 Urformen	6
2.1 Gießen	6
2.1.1 Verfahrensmerkmale und Besonderheiten der Gießverfahren	6
2.1.1.1 Verfahren in verlorenen Formen mit Dauermodellen	7
2.1.1.2 Verfahren in verlorenen Formen mit verlorenen Modellen	11
2.1.1.3 Verfahren in Dauerformen ohne Modelle	15
2.1.2 Kernherstellung	21
2.1.3 Konstruktionsrichtlinien für Gußteile	22
2.1.4 Fertigungsbeispiele	24
2.1.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	29
2.2 Pulvermetallurgie	33
2.2.1 Einleitung	33
2.2.2 Verfahrensschritte in der Pulvermetallurgie	34
2.2.2.1 Pulverherstellung	34
2.2.2.2 Legierungstechnik	34
2.2.2.3 Pressen	37
2.2.2.4 Sintern	42
2.2.2.5 Nachpressen und Nachsintern	43
2.2.2.6 Nachbehandeln	43
2.2.2.7 Pulverschmieden	44
2.2.3 Sinterwerkstoffe	48
2.2.3.1 Klassifizierung nach Raumerfüllungsgrad	48
2.2.3.2 Einteilung nach Legierungssystemen	50
2.2.4 Erreichbare Fertigungsqualitäten	54
2.2.4.1 Maßgenauigkeit	54
2.2.4.2 Oberflächenbeschaffenheit	55
2.2.5 Gestaltungshinweise	55
2.2.6 Fertigungsbeispiele	57
2.2.7 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	60

3 Umformen	62
3.1 Grundlagen	62
3.1.1 Einleitung	62
3.1.2 Metallkundliche Grundlagen zur Erfassung des Werkstoffzustands	62
3.1.2.1 Aufbau der Kristalle	62
3.1.2.2 Plastische Formänderung der Kristalle	64
3.1.2.3 Rekristallisation	69
3.1.2.4 Abgrenzung zwischen Kalt- und Warmumformung	72
3.1.3 Plastomechanische Grundlagen	73
3.1.3.1 Gegenüberstellung von Kristallphysik und Kontinuumsmechanik	73
3.1.3.2 Der Spannungszustand	74
3.1.3.3 Fließbedingung	76
3.1.3.4 Kinematik des Kontinuums	80
3.1.3.5 Volumenkonstanz	83
3.1.3.6 Fließgesetz	84
3.1.3.7 Plastizitätstheoretische Lösungsmöglichkeiten für umformtechnische Probleme	87
3.1.3.8 Grenzen der plastischen Umformung	101
3.2 Massivumformverfahren	103
3.2.1 Fließpressen	103
3.2.1.1 Definitionen	103
3.2.1.2 Einteilung und Besonderheiten der Fließpreßverfahren	104
3.2.1.3 Fließpreßwerkstoffe	108
3.2.1.4 Zulässige Formänderungen	119
3.2.1.5 Kraft- und Arbeitsbedarf	122
3.2.1.6 Reibung	125
3.2.1.6.1 Oberflächenbehandlung der Werkstücke	125
3.2.1.6.2 Schmierung und Schmierstoff	126
3.2.1.7 Fließpreßwerkzeuge und Werkzeugauslegung	129
3.2.1.8 Fertigungsgenauigkeiten und Oberflächenqualitäten	144
3.2.1.9 Fertigungsbeispiele	147
3.2.1.10 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	157
3.2.1.11 Sonderverfahren des Fließpressens	161
3.2.1.11.1 Halbwarm-Fließpressen	161

	3.2.1.11.2	Fließpressen von Werkstoffen im superplastischen Zustand	163
3.2.2		Schmieden	164
	3.2.2.1	Definitionen und Verfahrenübersicht	164
		3.2.2.1.1 Freiformschmieden	167
		3.2.2.1.2 Gesenkschmieden	180
		3.2.2.1.3 Rundkneten	190
	3.2.2.2	Wärmen	193
		3.2.2.2.1 Einrichtungen zum Wärmen	193
		3.2.2.2.2 Oxidationsvorgänge beim Wärmen und Schmieden von Stahl	195
		3.2.2.2.3 Verfahren zur Entzunderung nach dem Schmieden	196
	3.2.2.3	Werkstoffe zum Schmieden	197
	3.2.2.4	Werkzeuge zum Schmieden	202
		3.2.2.4.1 Werkzeuge zum Freiformschmieden	202
		3.2.2.4.2 Werkzeuge zum Gesenkschmieden	204
	3.2.2.5	Gestaltung und Eigenschaften von Schmiede- stücken	212
		3.2.2.5.1 Beeinflussung der Werkstückeigen- schaften durch Freiformschmiede- verfahren	212
		3.2.2.5.2 Gestaltung von Gesenkschmiedeteilen	213
		3.2.2.5.3 Eigenschaften von Gesenkschmiede- teilen	217
	3.2.2.6	Fertigungsbeispiele	220
		3.2.2.6.1 Fertigungsbeispiele zum Freiform- schmieden	220
		3.2.2.6.2 Fertigungsbeispiele zum Gesenk- schmieden	223
3.2.3		Walzen als Nach- oder Fertigbearbeitungsverfahren	236
	3.2.3.1	Profilwalzen von Fertigteilen	236
		3.2.3.1.1 Grundlagen und Übersicht über die Walzverfahren	236
		3.2.3.1.2 Walzen von Verzahnungsprofilen	239
		3.2.3.1.3 Gewindewalzen	249
	3.2.3.2	Oberflächenfeinwalzen	260
	3.2.3.3	Werkstoffe für Walzverfahren	268
	3.2.3.4	Werkzeugbaustoffe für Walzverfahren	270
	3.2.3.5	Reibung und Schmierung	270

XII

4 Fertigungsfolge „Ur-/Umformen-Zerspanen“	272
4.1 Grundlagen und Voraussetzungen zur Optimierung von Fertigungsfolgen	272
4.2 Fertigungsprozesse mit neuen Leistungs- und Anwendungs- bereichen	274
4.2.1 Ur- und Umformtechnik	274
4.2.2 Zerspanung endkonturnaher Rohteile	276
4.3 Fertigungsbeispiele und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	277
4.3.1 Urformen	277
4.3.2 Umformen	281
Schrifttum	293
Sachwörterverzeichnis	303