

Handbuch der Fertigungstechnik

Herausgegeben

von Prof. Dr.-Ing. Günter Spur

und Prof. Dr.-Ing. Theodor Stöferle t

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

Band 1

Urformen

Herausgegeben
von Prof. Dr.-Ing. Günter Spur

Mit 971 Bildern und 138 Tabellen

Carl Hanser Verlag München Wien 1981

Inhalt

1	Einführung in die Urformtechnik	1
1.1	Allgemeines	1
1.2	Einteilung des Urformens	2
1.3	Wirtschaftliche Bedeutung	4
	Literatur zu Kapitel 1	8
2	Gießen	9
2.1	Einführung in die Technologie des Gießens	9
2.1.1	Geschichtliche Entwicklung	9
2.1.2	Bedeutung der Gießereitechnik	11
2.1.3	Grundbegriffe und Übersicht der Form- und Gießverfahren	17
2.1.4	Technologische Richtlinien bei der Formgebung durch Gießen	41
2.1.5	Vorbereitende und nachbehandelnde Arbeitsvorgänge	53
	Literatur zu Abschnitt 2.1	56
2.2	Grundlagen des Gießens	59
2.2.1	Allgemeines	59
2.2.2	Erstarrung	59
2.2.2.1	Entstehung des Gußgefüges	59
2.2.2.2	Erstarrungsmorphologie	60
2.2.3	Gießereigenschaften	63
2.2.3.1	Allgemeines	63
2.2.3.2	Formfüllungsvermögen	63
2.2.3.3	Fließvermögen	65
2.2.3.4	Speisungsvermögen	67
2.2.3.5	Warmrißbildung	69
2.2.3.6	Lunkerverhalten	71
2.2.3.7	Sonstiges	77
2.2.4	Gieß-, Anschnitt- und Speisungstechnik	78
2.2.4.1	Gieß- und Anschnitttechnik	78
2.2.4.2	Speisungstechnik	78
	Literatur zu Abschnitt 2.2	81
2.3	Technologie des Schmelzens	83
2.3.1	Schmelzverfahren für Gußeisen und Stahlguß	83
2.3.2	Kupolofen	87
2.3.2.1	Grundgesetze des Kupolofenschmelzens	87
2.3.2.2	Verfahrensmodifikationen	103
2.3.2.2.1	Allgemeines	103
2.3.2.2.2	Einflußnahme auf die Verbrennungsvorgänge	104
2.3.2.2.3	Einflußnahme auf die Lage der Schmelzzone	109
2.3.2.3	Metallurgie	120
2.3.2.4	Ofenbetrieb	131
2.3.3	Elektroofen	147
2.3.3.1	Grundgesetze des induktiven Schmelzens	147
2.3.3.2	Verfahrensspezifische Kriterien	162
2.3.3.3	Metallurgie	169
2.3.3.4	Ofenbetrieb	187
2.3.4	Lichtbogenofen	199

2.3.4.1	Grundgesetze des Lichtbogenofens	199
2.3.4.2	Metallurgie	202
2.3.4.3	Anlagenaufbau und Ofenauslegung	204
2.3.5	Drehtrommelofen	214
2.3.5.1	Verfahrensprinzip	214
2.3.5.2	Metallurgie	215
2.3.5.3	Ofenbetrieb	216
	Literatur zu Abschnitt 2.3	221
2.4	Technologie des Gießens	228
2.4.1	Der Gießvorgang als Fertigungsaufgabe	228
2.4.2	Vom Schmelzofen zur Gießstation	229
2.4.2.1	Gießgefäße	229
2.4.2.2	Mechanik des Gießstroms	230
2.4.2.3	Flüssigmetalltransport	230
2.4.2.4	Warmhalteöfen	230
2.4.3	Gießeinrichtungen	232
2.4.3.1	Unbeheizte Gießeinrichtungen	232
2.4.3.2	Beheizte Gießeinrichtungen (Gießöfen)	234
2.4.3.3	Kostenvergleichsrechnung	237
	Literatur zu Abschnitt 2.4	238
2.5	Gußfertigung mit verlorenen Formen	239
2.5.1	Modellherstellung	239
2.5.1.1	Modellkonstruktion	239
2.5.1.2	Holzmodelle	240
2.5.1.2.1	Werkstoffe	240
2.5.1.2.2	Herstellung	242
2.5.1.3	Metallmodelle	245
2.5.1.3.1	Werkstoffe	245
2.5.1.3.2	Herstellung	245
2.5.1.4	Kunststoffmodelle	249
2.5.1.4.1	Werkstoffe	249
2.5.1.4.2	Herstellung	249
2.5.1.4.3	Beheizung	254
2.5.1.4.4	Veredlung	255
2.5.1.5	Modelle aus Polystyrol-Schaumstoff	255
2.5.1.5.1	Werkstoffe	255
2.5.1.5.2	Herstellung	256
2.5.1.6	Modellagerung	258
2.5.2	Herstellung verllorener Formen mit Dauermodellen	259
2.5.2.1	Tongebundene Formstoffe	259
2.5.2.1.1	Allgemeines	259
2.5.2.1.2	Naßguß	262
2.5.2.1.3	Trockenguß	289
2.5.2.2	Chemisch gebundene Formstoffe	292
2.5.2.2.1	Zementsandverfahren	292
2.5.2.2.2	Wasserglasverfahren	302
2.5.2.2.3	Kaltharzverfahren	308
2.5.2.2.4	Maskenformverfahren	328
2.5.2.2.5	Cold-Box-Verfahren	346
2.5.2.2.6	Hot-Box-Verfahren	358
2.5.2.2.7	Fließsandverfahren	372

2.5.2.2.8	Genaugießen nach dem Shaw-Verfahren.	381
2.5.2.2.9	Genaugießen nach dem Gipsformverfahren.	395
2.5.2.2.10	Feingießen.	409
2.5.2.2.11	Sonstige Hohlformgießverfahren.	423
2.5.2.2.12	Vollformgießverfahren.	441
2.5.2.3	Physikalisch gebundene Formstoffe.	458
2.5.2.3.1	Einleitung.	458
2.5.2.3.2	Vakuumformverfahren.	461
2.5.2.3.3	Vollformgießen.	477
2.5.3	Gießereihilfsstoffe.	490
2.5.3.1	Allgemeines.	490
2.5.3.2	Hilfsstoffe für die Metallurgie der Nichteisenmetalle.	490
2.5.3.3	Hilfsstoffe für die Metallurgie der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen.	491
2.5.3.4	Hilfsstoffe für Formen und Kerne.	492
2.5.4	Formstoffaufbereitung.	500
2.5.4.1	Allgemeines.	500
2.5.4.2	Aufgabe der Formstoffaufbereitung.	503
2.5.4.3	Aufbereitungsanlagen.	507
2.5.4.3.1	Anlagenarten.	507
2.5.4.3.2	Maschinen und Aggregate.	510
2.5.4.4	Formstoffprüfverfahren.	537
2.5.5	Formstoffregenerierung.	541
2.5.5.1	Formstoffkreislauf.	541
2.5.5.2	Formstoffregenerierung.	543
2.5.5.3	Beschaffenheit der Altsande.	543
2.5.5.4	Realisierung und Maschinensysteme.	546
2.5.5.5	Anforderungen an den regenerierten Sand.	559
2.5.5.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.	566
	Literatur zu Abschnitt 2.5.	567
2.6	Gußfertigung mit Dauerformen.	581
2.6.1	Herstellung von Dauerformen.	581
2.6.1.1	Allgemeines.	581
2.6.1.2	Anforderungen an Gußteile.	581
2.6.1.3	Konstruktionsmerkmale von Dauerformen.	587
2.6.1.4	Werkstoffe für Dauerformen und deren Wärmebehandlung.	594
2.6.1.5	Fertigung der Werkzeugbauteile.	599
2.6.1.6	Wartung von Dauerformen.	605
2.6.1.7	Herstellungskosten für Dauerformen.	606
2.6.2	Schwerkraft-Kokillengießen.	608
2.6.2.1	Kokillengießmaschinen.	608
2.6.2.2	Schwerkraft-Kokillengießen mit Eisen-Kohlenstoff-Gußwerkstoffen.	615
2.6.2.3	Schwerkraft-Kokillengießen mit Leichtmetall-Gußwerkstoffen.	624
2.6.2.4	Schwerkraft-Kokillengießen mit Schwermetall-Gußwerkstoffen.	636
2.6.3	Niederdruck-Kokillengießen.	649
2.6.3.1	Allgemeines.	649
2.6.3.2	Niederdruck-Kokillengießverfahren für Aluminium.	652
2.6.3.2.1	Anwendungsbereiche.	652
2.6.3.2.2	Gießöfen.	653
2.6.3.2.3	Schmelzbehandlung.	655

2.6.3.2.4	Steigrohre	655
2.6.3.3	Gießmaschinen	656
2.6.3.4	Kokillen	657
2.6.3.5	Gießtechnik	659
2.6.3.6	Niederdruck-Gießen mit elektromagnetischer Pumpe	660
2.6.3.7	Niederdruck-Magnesium-Kokillengießverfahren	661
2.6.3.8	Niederdruck-Kokillengießverfahren für Kupferlegierungen	662
2.6.3.9	Niederdruckgießen in zu zerstörende Formen	663
2.6.3.10	Niederdruck-Stahlguß	664
2.6.4	Druckgießen	665
2.6.4.1	Allgemeines	665
2.6.4.2	Grundlagen des Druckgießverfahrens	666
2.6.4.3	Druckgießmaschinen und -verfahren	669
2.6.4.3.1	Warm- und Kaltkammermaschinen	669
2.6.4.3.2	Gießen mit Vakuum	675
2.6.4.3.3	Acurad-Verfahren	675
2.6.4.3.4	Gießen mit Sauerstofffüllung	676
2.6.4.4	Einrichtungen zum Schließen, Zuhalten und öffnen des Gießwerkzeugs	677
2.6.4.5	Einpreßvorgang	677
2.6.4.6	Unfallschutz und Sicherheitsbestimmungen	678
2.6.4.7	Werkstoffe für das Druckgießen	679
2.6.4.8	Druckgußwerkzeuge	681
2.6.4.8.1	Allgemeines	681
2.6.4.8.2	Formgebung des Anschnitts	682
2.6.4.8.3	Formentlüftung	683
2.6.4.8.4	Formkühlung	684
2.6.4.8.5	Formherstellung	684
2.6.4.8.6	Werkstoffe für Druckgießformen	684
2.6.4.9	Vorbereitung für das Gießen und Formpflege	686
2.6.4.10	Schmelzen und Warmhalten, Dosieren und Beschicken	686
2.6.4.11	Druckgußteile	688
2.6.4.12	Anwendungsgebiete für Druckgußteile	689
2.6.5	Schleudergießen	690
2.6.5.1	Schleudergießen von Eisen-Kohlenstoff-Gußwerkstoffen	690
2.6.5.1.1	Allgemeines	690
2.6.5.1.2	Verfahrensablauf	692
2.6.5.1.3	Formen für das Schleudergießen	695
2.6.5.1.4	Gießtechnik	696
2.6.5.1.5	Physikalische Vorgänge während der Erstarrung	698
2.6.5.1.6	Schleudergießerzeugnisse und -Verfahren	699
2.6.5.1.7	Eigenschaften von Schleudergußstücken	705
2.6.5.1.8	Wirtschaftlichkeit	708
2.6.5.2	Schleudergießen von Schwermetall-Gußwerkstoffen	709
2.6.5.2.1	Allgemeines	709
2.6.5.2.2	Metallurgische Vorgänge	710
2.6.5.2.3	Seigerungen	712
2.6.5.2.4	Fertigungsverfahren	713
2.6.5.2.5	Schleudergußkokillen	714
2.6.5.2.6	Schleudergußwerkstoffe	714
2.6.6	Stranggießen	715

2.6.6.1	Allgemeines	715
2.6.6.2	Einteilung der Stranggießverfahren	715
2.6.6.3	Horizontale Stranggießanlagen mit ofenabhängiger Gleitkokille	717
2.6.6.3.1	Allgemeines	717
2.6.6.3.2	Gießen von Schwermetall-Werkstoffen	719
2.6.6.3.3	Gießen von Leichtmetall-Werkstoffen	722
2.6.6.3.4	Gießen von Gußeisen-Werkstoffen	722
2.6.6.3.5	Gießen von Stahl	723
2.6.6.4	Aufbau der Kokillen	723
2.6.6.5	Produkteigenschaften von Gußeisen-Strangguß	723
	Literatur zu Kapitel 2.6	728
2.7	Gußputzen	735
2.7.1	Aufgaben der Gußputzerei	735
2.7.2	Arbeitsverfahren in der Gußputzerei	735
2.7.2.1	Entsanden und Entzundern	735
2.7.2.2	Entfernen der Angüsse und Speiser	742
2.7.2.3	Entgraten der Gußteile	744
	Literatur zu Abschnitt 2.7	751
2.8	Qualitätssicherung bei der Gußfertigung	752
2.8.1	Allgemeines	752
2.8.2	Meß- und Prüfeinrichtungen der Qualitätskontrolle	755
2.8.3	Praxis der Qualitätssicherung	759
	Literatur zu Abschnitt 2.8	763
2.9	Kostenbetrachtung zur Gußfertigung	767
2.9.1	Einleitung	767
2.9.2	Entwicklung der Kostenrechnungsverfahren	768
2.9.2.1	Allgemeines	768
2.9.2.2	Divisionskalkulation	769
2.9.2.3	Zuschlagskalkulation	771
2.9.2.4	Kostenstellenrechnung	772
2.9.2.5	Plankostenrechnung	775
2.9.3	Aufbau des Zeitengerüsts	778
2.9.3.1	Allgemeines	778
2.9.3.2	Hauptarbeitsgänge	779
2.9.3.3	Differenzierung der Hauptarbeitsgänge in Teilarbeitsgänge	782
2.9.3.4	Einteilung der Hauptarbeitsgänge nach Verfahren	786
2.9.4	Aufbau des Mengengerüsts	789
2.9.4.1	Allgemeines	789
2.9.4.2	Gewichtsberechnung des Gußstücks	789
2.9.4.3	Ermittlung des Kreislaufgewichts	790
2.9.4.4	Volumenberechnung der Verarbeitungsstoffe	792
2.9.4.5	Verrechnung von Betriebsmitteln	793
2.9.5	Kostenstruktur der Gußfertigung	794
2.9.5.1	Allgemeines	794
2.9.5.2	Materialkosten	794
2.9.5.3	Hilfsstoffkosten	796
2.9.5.4	Fertigungskosten	797
2.9.5.5	Ausschuß- und Nacharbeitskosten	797
2.9.5.6	Auftragsbearbeitungskosten	798
2.9.5.7	Verwaltungs- und Vertriebskosten	799
2.9.6	Probleme zur Wettbewerbsfähigkeit der Gießerei-Industrie	801

2.9.6.1	Allgemeines	801
2.9.6.2	Wettbewerbsfähigkeit von Kundengießereien	802
2.9.6.3	Erweiterung der gußtechnischen Produktpalette	803
	Literatur zu Abschnitt 2.9	806
3	Galvanoformung	807
3.1	Allgemeines	807
3.2	Grundlagen der Galvanoformung	810
3.3	Werkstücksystematik	813
3.4	Modellfertigung	816
3.4.1	Modellvorbereitung	816
3.4.2	Elektrolytisches Abscheiden	818
3.4.3	Fertigungsanlagen	819
3.5	Wirtschaftliche Anwendung	822
	Literatur zu Kapitel 3	822
4	Pulvermetallurgie	823
4.1	Einführung	823
4.2	Grundlagen der Pulvermetallurgie	825
4.2.1	Allgemeines	825
4.2.2	Einfachsintertechnik	826
4.2.3	Tränken	828
4.2.4	Nachpressen, Kalibrieren	828
4.2.5	Nachpressen, Nachsintern (Zweifachsintertechnik)	831
4.2.6	Warm- oder Kalt-Nach- bzw. -Umformen	831
4.2.7	Vorwärts-Kaltfließpressen	833
4.3	Herstellung und Eigenschaften der Metallpulver	834
4.3.1	Definition	834
4.3.2	Verfahren zur Pulverherstellung	834
4.3.2.1	Chemische Verfahren	834
4.3.2.2	Elektrochemische Verfahren	837
4.3.2.3	Zerkleinerungsverfahren	838
4.3.3	Eigenschaften der Metallpulver	840
4.4	Verarbeitung von Metallpulver zu Formkörpern	843
4.4.1	Verdichtung	843
4.4.2	Formgebung	844
4.4.3	Stoffverteilung	852
4.4.4	Sonstige Verfahren zur Formgebung	856
4.4.4.1	Schlickergußverfahren	856
4.4.4.2	Pulverwalzen	856
4.4.4.3	Isostatisches Kaltpressen	857
4.4.4.4	Strangpressen	859
4.4.4.5	Hochenergie- bzw. Hochgeschwindigkeitsverdichtung	866
4.4.4.6	Explosionsverdichtung	869
4.5	Sinterung und Legierungstechnik	870
4.5.1	Grundlagen des Sinterns	870
4.5.1.1	Definition	870
4.5.1.2	Grundlagen des Stofftransports	871
4.5.2	Technologie des Sinterns	873
4.5.2.1	Schüttsinterung	873

4.5.2.2 Drucksinterung	874
4.5.2.3 Sintern in fester Phase	876
4.5.2.4 Legierungstechnik	884
4.6 Weiterbearbeitung und Nachbehandlung	887
4.6.1 Nachformung unter Verminderung des Porenraumes ohne seitliches Fließen	887
4.6.2 Nachformung mit zusätzlichem Stofffluß	887
4.6.3 Spanende Bearbeitung	888
4.6.4 Tränkung	889
4.6.5 Wärmebehandlung	891
4.6.6 Oberflächenbehandlung	896
4.7 Gebrauchseigenschaften von Sinterwerkstoffen	898
4.7.1 Physikalische Kennwerte	898
4.7.2 Festigkeitseigenschaften	909
4.7.3 Gebrauchseigenschaften von Sinterwerkstoffen	913
4.7.4 Gesinterte Gleitlager	918
4.8 Formgestaltung und Werkstücksystematik	920
4.8.1 Bevorzugte geometrische Formen	920
4.8.2 Grenzen des pulvermetallurgischen Fertigungsverfahrens	923
4.8.3 Beispiele der Formgestaltung	926
4.8.4 Maßgenauigkeit	929
4.8.5 Werkstücksystematik	929
4.9 Wirtschaftlichkeit der pulvermetallurgischen Fertigung	935
4.9.1 Kostenbestimmende Einflußgrößen	935
4.9.2 Kostenstruktur	936
4.9.2.1 Stoffkosten	936
4.9.2.2 Formgebungskosten	942
4.9.2.3 Sinterkosten	945
4.9.2.4 Werkzeugkosten	947
4.9.2.5 Rüstkosten	948
4.9.2.6 Kosten für Fertigungsrisiko und Qualitätssicherung	949
4.9.3 Kostenvergleiche mit anderen Fertigungsverfahren	951
Literatur zu Kapitel 4	968
Bildnachweis	978
Sachwortregister	981