

Inhaltsverzeichnis

Vorwort		V
Einleitung		XXIII
1	Druckgusslegierungen und ihre Eigenschaften	3
1.1	Aluminiumdruckgusslegierungen	4
1.2	Magnesiumdruckgusslegierungen	8
1.3	Kupferdruckgusslegierungen	11
1.4	Zinkdruckgusslegierungen	13
1.5	Mechanische Eigenschaften der Druckgusslegierungen	16
1.5.1	Mechanische Eigenschaften bei Raumtemperatur	16
1.5.2	Festigkeitseigenschaften bei erhöhter Temperatur	16
1.5.3	Elastizitätsmodul bei erhöhter Temperatur	21
1.6	Thermophysikalische Eigenschaften der Druckgusslegierungen	28
1.6.1	Physikalische Eigenschaften der Druckgusslegierungen bei Raumtemperatur	29
1.6.2	Physikalische Eigenschaften der Druckgusslegierungen bei erhöhter Temperatur	29
1.6.2.1	Physikalische Eigenschaften von Elementen	29
1.6.2.2	Dichte, mittlerer linearer Wärmeausdehnungskoeffizient und Schwindung	31

1.6.2.3	Spezifische Wärmekapazität, Schmelzwärme und Wärmeleitfähigkeit	34
	Literatur zu Kapitel 1	40
2	Porositäten und Gestaltungselemente der Druckgussteile	45
2.1	Optimierung von Porositäten in Druckgussteilen	46
2.1.1	Bestimmung des Gasporen- und Lunkeranteils	46
2.1.2	Einfluss der Porosität auf die Qualität der Druckgussteile	56
2.1.3	Methoden zur Vermeidung der Gasporosität	64
2.1.4	Reduzierung der Lunkerung in Druckgussteilen	68
2.2	Richtlinien für die Gestaltung der Elemente an Druckgussteilen	70
2.2.1	Einige Beispiele der Druckgussteile aus der Praxis	71
2.2.2	Wanddicke der Druckgussteile	78
2.2.3	Masseanhäufungen und Rippen	84
2.2.4	Konizität der Druckgussteilflächen	87
2.2.5	Querschnittsübergänge	91
2.2.6	Bohrungen und Hinterschneidungen	96
2.2.6.1	Bohrungen	96
2.2.6.2	Hinterschneidungen	98
2.2.7	Angriffspunkte für Auswerferstifte	98
	Literatur zu Kapitel 2	104
3	Maßgenauigkeit der Druckgussteile	109
3.1	Systematischer und zufälliger Fehleranteil des Nennmaßes	110
3.2	Ungehinderte und behinderte Schwindung	114
3.3	Maßgenauigkeit der Druckgießform	121
3.3.1	Toleranzfelder für formgebundene und nicht formgebundene Maße des Formhohlraums bei der Herstellung der Druckgießform	122
3.3.2	Zuschlagtoleranzfeld durch den Verschleiß der Formgravur	124

3.4	Allgemein-, einhaltbare und minimale Toleranzfelder des Gussstücks	126
3.4.1	Allgemeintoleranzfelder	130
3.4.2	Einhaltbare und minimale Toleranzfelder	133
3.4.3	Praktisch gemessene Abmaße und berechnete Toleranzen von Gussstücken	135
Literatur zu Kapitel 3		148
4	Druckguss und Sonderentwicklungen des Druckgießverfahrens	153
4.1	Traditionelle Kaltkammer- und Warmkammer-Druckgießverfahren ..	154
4.1.1	Kaltkammer-Druckgießverfahren	154
4.1.2	Warmkammer-Druckgießverfahren	157
4.2	Sonderentwicklungen des Druckgießverfahrens	159
4.2.1	Druckgießmaschinen mit vertikaler Kaltkammer	160
4.2.2	Druckgießverfahren mit dem Metallnachdruck in der Gießkammer oder im Formhohlraum	162
4.2.3	Vakuumdruckgießverfahren	164
4.2.3.1	Vakuumeinrichtungen	164
4.2.3.2	Luftdruckverlauf im Formhohlraum	168
4.2.3.3	Entlüftungseinsätze	170
4.2.4	Gasporenfrees Druckgießverfahren	174
4.2.5	Druckgießverfahren der Legierungen im teilflüssigen Zustand	176
4.2.5.1	Thixo-Casting	176
4.2.5.2	Thixospritzgießen der Magnesiumlegierungen	180
Literatur zu Kapitel 4		184
5	Hauptparameter des Druckgießverfahrens	189
5.1	Wahl der Gießkolbengeschwindigkeit oder Beschleunigung der ersten Gießphase	190
5.1.1	Gießkolbenstrecke der ersten Gießphase und Anfangsfüllgrad	190

5.1.2	Schmelzbewegung in der Gießkammer	193
5.1.3	Kritische Gießkolbengeschwindigkeit	198
5.1.4	Kritische Gießkolbenbeschleunigung	202
5.2	Gießkolbengeschwindigkeit während der Formfüllphase und beim Schuss ohne Metall	208
5.2.1	Gießkolbengeschwindigkeit während der Formfüllphase	208
5.2.2	Gießzeit und Fließlänge der Schmelze im Formhohlraum.....	210
5.2.3	Experimentelle und theoretische Untersuchungen der Gießzeit	218
5.2.4	Gießzeit- und Fließlängenauswertung	221
5.2.5	Gießkolbengeschwindigkeit beim Schuss ohne Metall	226
5.3	Druck auf das flüssige Metall	228
5.3.1	Maximaler Nachdruck aus der Druckgießpraxis	228
5.3.2	Minimaler Nachdruck	233
5.3.3	Wahlbereich des Nachdrucks	234
5.3.4	Hydraulikdruck im Kolbenraum des Antriebszylinders	235
5.4	Formzuhaltekraft und zulässige Gießkolbengeschwindigkeit	237
5.4.1	Formzuhaltekraft	238
5.4.2	Zulässige Gießkolbengeschwindigkeit	245
5.5	Nachverdichtungszeit des Gussstücks	264
5.6	Erstarrungszeit des Abgusses und Zuhaltezeit der Druckgießform ...	268
5.6.1	Erstarrungszeit des Abgusses	268
5.6.2	Zuhaltezeit der Druckgießform	273
5.7	Verweilzeit und erstarrte Randschalendicke der Schmelze in der Gießkammer	277
Literatur zu Kapitel 5		282
6	Geometrische Gestaltung des Gießlaufsystems	287
6.1	Platzierung und geometrische Gestaltung des Anschnitts	288
6.1.1	Platzierung des Anschnitts	288

6.1.2	Geometrische Größen des Anschnitts	290
6.1.3	Länge der Anschnittzunge	293
6.1.4	Dicke des Anschnitts	295
6.2	Einströmung des flüssigen Metalls in den Formhohlraum	297
6.2.1	Freistrahл des flüssigen Metalls und seine Zerstäubung	297
6.2.2	Minimale und optimale Strömungsgeschwindigkeit des flüssigen Metalls im Anschnitt	303
6.2.3	Auflösungslänge des Metallstrahls	310
6.3	Anschnittquerschnitt	311
6.4	Gießläufe aus der Druckgießpraxis	313
6.5	Geometrische Gestaltung und Widerstandszahlen der Gießlaufelemente	318
6.5.1	Gerades Gießlaufelement	319
6.5.2	Plötzliche und allmähliche Querschnittsveränderungen des Gießlaufelements	322
6.5.3	Krümmen im Gießlauf	324
6.5.4	Verzweigungen im Gießlaufsystem	326
6.5.5	Ausflusszahl und Widerstandszahl des Anschnitts	328
6.5.6	Ausflusszahl und Widerstandszahl des Gießlaufs mit mehreren Anschnitten	330
6.5.7	Geometrische Gestaltung und Widerstandszahl des Eingusses bei der Druckgießmaschine mit horizontaler Kaltkammer	333
6.5.8	Experimentelle Bestimmung der Gesamtausflusszahl und der Gesamtwiderstandszahl des Gießlaufsystems	334
6.6	Geometrische Gestaltung des fächerförmigen Gießlaufs	336
6.7	Geometrische Gestaltung der Elemente für abgewinkelte, T-förmige und Tangentialgießläufe	340
6.7.1	Geometrische Gestaltung des Tangentialzulaufs	340
6.7.2	Krümmen des abgewinkelten Gießlaufs	346
6.7.3	Mittelbereich des Gießlaufs	347
6.7.4	Gießzulauftümpel	350

6.8	Berechnungsbeispiel des Tangentialgießlaufs	351
	Literatur zu Kapitel 6	355
7	Entlüftungskanäle und Überläufe der Druckgießformen	359
7.1	Entlüftungskanäle	360
7.1.1	Gestaltung der Entlüftungskanäle	360
7.1.2	Entlüftungsquerschnitt des Formhohlraums	362
7.1.3	Ausflussgeschwindigkeit von Gasen aus dem Formhohlraum	365
7.1.4	Abgeführte Gasmasse aus dem Formhohlraum	371
7.2	Überläufe	375
7.2.1	Anordnung der Überläufe	376
7.2.2	Zweckmäßige Gestaltung der Überläufe	379
	Literatur zu Kapitel 7	388
8	Technologie des Druckgusses	393
8.1	Größen und technologische Angaben für Gussstücke aus der Praxis ..	394
8.2	CAD/CAM-System für die schnelle Entstehung des Druckgussteils ..	407
8.3	Modul zur geometrischen und mechanischen Analyse des Druckgussteils	412
8.4	Modul zur Berechnung und Projektierung der Gießlaufsysteme	417
8.5	Modul zur Berechnung der Entlüftungen und der Überläufe	420
8.6	Modul zur Berechnung der Erstarrungs- und Formzuhaltzeit	421
8.7	Modul zur Berechnung der Parameter des Druckgießverfahrens und der Druckgießmaschine	428
8.8	Formfüll- und Erstarrungssimulationsprogramme	432
8.9	Schmierung der Druckgießform und der Gießkammer	442
8.10	Druckgießzelle und Zykluszeit des Druckgießverfahrens	451
8.10.1	Arbeitszeitdiagramm der Druckgießzelle	451
8.10.2	Einrichtungen der Druckgießzelle	454

8.10.3	Ausführung einer vollautomatischen Druckgießzelle	459
8.11	Behandlung der Druckgusslegierungen	461
8.11.1	Behandlung der Aluminiumdruckgusslegierungen	462
8.11.2	Behandlung der Magnesiumdruckgusslegierungen	470
8.12	Prüfen der Druckgussteile	471
Literatur zu Kapitel 8		476
9	Konstruieren der Druckgießformen	481
9.1	Prinzipieller Aufbau der Druckgießform	481
9.2	Formbildende und hochbeanspruchte Bauteile	489
9.2.1	Formeinsätze	491
9.2.2	Feste Kerne und Schieber	494
9.2.3	Eingussverteiler und Eingießbuchse	500
9.2.4	Gießkammer und Gießkolben	504
9.2.4.1	Ausführung der Gießkammer und des Gießkolbens	504
9.2.4.2	Passungsspiel zwischen Gießkammer und Gießkolben	508
9.3	Konstruktive Grundbauteile	518
9.3.1	Form-, Zwischen- und Aufspannplatten	520
9.3.2	Führungs- und Zentriersysteme	528
9.3.3	Ausführungen von Leisten	531
9.4	Bauteile des Auswerfersystems	533
9.5	Auslegung des Kühl- und Heizsystems	539
9.5.1	Normalisierte Bauelemente für Temperierkanäle	541
9.5.2	Normalisierte Bauelemente für Kerne	544
9.5.3	Temperiergeräte	549
9.6	Werkstoffe für Druckgießformbauteile	551
9.7	Zulässige Spannungen für Werkzeugstähle bei der Schwingbeanspruchung der Druckgießformbauteile	558
9.8	Stabilität der Druckgießform	563

9.8.1	Festigkeit und Verformung der Zwischenplatte	564
9.8.2	Festigkeit und Verformung der beweglichen Formplatte	569
9.9	Herstellung der Druckgießformbauteile	571
	Literatur zu Kapitel 9	578
10	Instationäre Temperaturverteilungen in formbildenden und hochbeanspruchten Bauteilen sowie Standzeit der Druckgießform	583
10.1	Instationäre Temperaturverteilungen in Bauteilen der Druckgießform	583
10.1.1	Temperaturverlauf in ebener Wand eines Formbauteils	583
10.1.2	Temperaturverlauf in zylindrischem Formbauteil	592
10.1.3	Temperaturverlauf in der Gießkammer	596
10.2	Thermische Ermüdung und Standzeit der Druckgießform	598
10.2.1	Mechanische und physikalische Eigenschaften einiger Formwerkstoffe	601
10.2.2	Wesen der thermischen Ermüdung	610
10.2.3	Bewertung von Angaben über Formstandzeiten	611
10.2.3.1	Formstandzeit beim Druckgießen der Aluminiumlegierungen	611
10.2.3.2	Beschichtung der Kerne zur Verlängerung der Formstandzeit beim Druckgießen der Aluminiumlegierungen	615
10.2.3.3	Formstandzeit beim Druckgießen der Kupferlegierungen	618
10.2.4	Auftretende Wärmespannungen und Verzerrungen in Formbauteilen	620
10.2.4.1	Vergleichswärmespannung in ebener Wand und zylindrischem Formbauteil	621
10.2.4.2	Maximale elastische Vergleichswärmespannung und Verzerrungskomponente	625
10.2.4.3	Plastische Verzerrungskomponente	628
10.2.5	Formstandzeitbestimmung	628
10.2.5.1	Spannungsverlauf an der Formoberfläche	628
10.2.5.2	Theoretische Bestimmung der Formstandzeit	632

10.2.5.3	Vergleich der theoretischen und praktischen Untersuchungen der Formstandzeiten	634
Literatur zu Kapitel 10		638
11	Entformen des Gussstücks aus dem Formhohlraum	643
11.1	Experimentelle Untersuchungen der Entformungskraft und der mittleren Druckspannung	644
11.2	Ermittlung der Entformungskraft und der mittleren Druckspannung .	652
11.3	Bestimmung der Abziehkraft am Kern	658
11.3.1	Bestimmung der Abziehkraft am runden Kern	659
11.3.2	Flächenpressung am runden Kern	660
11.3.3	Bestimmung der Abziehkraft am runden stufenförmigen Kern und an kleinen Kernen mit verschiedenen Querschnitten	664
11.3.4	Bestimmung der Abziehkraft am rechtwinkligen Kern	666
11.3.5	Haftreibungskoeffizient	668
11.4	Beanspruchung der Schrägsäule	671
11.5	Knicken der Auswerferstifte	673
Literatur zu Kapitel 11		681
12	Heizung und Kühlung der Druckgießformen mit Temperiergeräten ...	685
12.1	Gestaltung des Temperierkanalsystems in der Druckgießform	686
12.2	Gesamtwärmebilanz der Druckgießform und zugeführte Wärmemenge vom Gussstück	687
12.3	An die Umgebung abgeführte natürliche Wärmemenge bei sämtlichen Arbeitsgängen	689
12.4	Berechnungsbeispiel der zugeführten Wärmemenge vom Gussstück und der abgeführten Wärmemenge an die Umgebung	705
12.4.1	Berechnung der zugeführten Wärmemenge Q vom Gussstück.	705
12.4.2	Berechnung der abgeführten Wärmemenge QU an die Umgebung ...	706
12.5	Abgeführte Wärmemenge durch das Temperiersystem	708

12.5.1	Abgeführte Wärmemenge an die Temperierkanäle	709
12.5.2	Abgeführte Wärmemenge von den Kernen	718
12.6	Auswahl des Temperiergeräts und der Temperiergeräteleistung	722
12.6.1	Druckverluste im Temperiersystem	723
12.6.2	Heizleistung des Temperiergeräts	736
	Literatur zu Kapitel 12	740
13	Konstruieren der Druckgießmaschinen mit horizontaler Kaltkammer .	745
13.1	Prinzipieller Aufbau der Druckgießmaschine mit horizontaler Kaltkammer	745
13.2	Technische Hauptdaten der Druckgießmaschinen	754
13.3	Gießeinheiten der Druckgießmaschine	762
13.3.1	Prinzipieller Aufbau der Gießeinheit	762
13.3.2	Allgemeine Anforderungen und Klassifizierung der Gießeinheiten . .	762
13.3.3	Gießeinheiten ohne Multiplikator	768
13.3.4	Gießeinheiten mit Multiplikator	775
13.3.4.1	Gießeinheiten mit Multiplikator und einem einzigen Kolbenspeicher	775
13.3.4.2	Gießeinheiten mit Multiplikator und zwei Kolbenspeichern	784
13.3.5	Gießeinheiten mit Hochdruckspeicher	791
13.4	Prinzipieller Aufbau der Formschließeinheit	796
13.4.1	Platten der Formschließeinheit	799
13.4.2	Kniehebelgelenksystem	802
13.4.3	Formhöhenverstelleinrichtung	808
13.4.4	Auswerfereinrichtung	810
13.4.5	Säulenzieheinrichtung	813
13.5	Hydrauliksystem der Formschließeinheit	815
13.5.1	Schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeiten	815
13.5.2	Prinzipieller Aufbau des Hydrauliksystems der Formschließeinheit . .	819
13.5.3	Antriebsaggregat und hydraulische Steuerblöcke der Verbraucher . . .	823

13.5.3.1	Antriebsaggregat	823
13.5.3.1.1	Hydraulikflüssigkeitsbehälter	827
13.5.3.1.2	Auswahl der Pumpen	832
13.5.3.1.3	Filterung der HFC-Hydraulikflüssigkeiten	840
13.5.3.1.4	Kühlung und Heizung der Hydraulikflüssigkeit	845
13.5.3.2	Hydraulische Steuerblöcke der Verbraucher	849
13.6	Zweiplatten-Formschließeinheit	853
Literatur zu Kapitel 13		864
14	Berechnung der Gießeinheiten	869
14.1	Maximale Antriebskolbengeschwindigkeit beim Schuss ohne Metall .	869
14.2	Maximale Druckspitze im Kolbenraum des Antriebszylinders	875
14.3	Maximale Druckspitze im Kolbenstangenraum des Antriebszylinders beim Abbremsen des Antriebskolbens	882
14.4	Simulation des Druckgießverfahrens an der Druckgießmaschine mit einer Gießeinheit ohne Multiplikator	888
14.5	Druckaufbauzeitspanne der Gießeinheiten mit einem Multiplikator und einem Hochdruckspeicher	901
14.5.1	Druckaufbauzeitspanne der Gießeinheit mit einem Multiplikator und zwei getrennten Kolbenspeichern	901
14.5.2	Druckaufbauzeitspanne der Gießeinheit mit einem Hochdruckspeicher	914
14.6	Kenngrößen der Gießeinheit mit einem Multiplikator	917
Literatur zu Kapitel 14		926
15	Berechnung der Formschließeinheit	931
15.1	Kraft und der Kolbenhub des Schließzylinders	931
15.1.1	Koordinaten der Gelenke und die Drehwinkel der Hebel	931
15.1.2	Gelenkabstände und der Kolbenhub des Schließzylinders	933
15.1.3	Schließzylinderkraft während und am Ende des Formschließens	937

15.1.4	Reibungszahl in den Gelenken und die Gesamtsteifigkeit der Formschließeinheit	945
15.1.5	Automatische Auswahl der Formschließeinheitsgrößen	950
15.2	Festigkeit der Maschinenplatten	952
15.3	Festigkeit des Kniehebelgelenksystems	960
15.3.1	Festigkeit der Hebel	960
15.3.2	Festigkeit der Achsen	965
15.4	Festigkeit der Führungssäulen	968
15.5	Motorleistung der Formhöhenverstelleinrichtung.....	977
15.6	Formschließkraft und Formzuhaltkraft der Druckgießmaschine mit einer Zweiplatten-Formschließeinheit	980
Literatur zu Kapitel 15		987
Sachwortverzeichnis		989