

HANSER



Leseprobe

zu

Spritzgießwerkzeuge

Christian Hopmann
Georg Menges
Walter Michaeli
Paul Mohren

ISBN (Buch): 978-3-446-45192-6

ISBN (E-Book): 978-3-446-45390-6

Weitere Informationen und Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Zur 7. Auflage	V
Die Autoren	IX
1 Das Spritzgießverfahren.....	1
1.1 Ablauf des Spritzgießprozesses.....	2
1.2 Spritzgießen von Thermoplasten.....	3
1.3 Spritzgießen vernetzender Formmassen	4
1.3.1 Spritzgießen von Elastomeren.....	5
1.3.2 Spritzgießen von Duroplasten	6
Literatur Kapitel 1	6
2 Formmassen für das Spritzgießen.....	7
2.1 Aufbau von Kunststoffen	7
2.2 Klassifikation von Kunststoffen aufgrund ihrer chemischen Struktur.....	8
2.2.1 Thermoplaste.....	8
2.2.1.1 Teilkristalline Thermoplaste	8
2.2.1.2 Amorphe Thermoplaste	9
2.2.2 Vernetzende Formmassen	11
2.2.2.1 Duroplaste	12
2.2.2.2 Elastomere	12
2.2.3 Zusatzstoffe	13
Literatur Kapitel 2	16
3 Gestalten von Bauteilen für das Spritzgießen von Thermoplasten	17
3.1 Kunststoff als Konstruktionswerkstoff	17
3.2 Gestaltungsregeln für die fertigungs- und werkstoffgerechte Konstruktion von Spritzgießbauteilen	18
3.2.1 Wanddicke so dünn wie möglich auslegen.....	19
3.2.2 Gleichbleibende Wanddicken vorsehen	23

3.2.3	Masseanhäufungen vermeiden	27
3.2.4	Ecken und Kanten mit Radien versehen.	29
3.2.5	Rippen spritzgießgerecht gestalten.	33
3.2.6	Ebene Flächen vermeiden	38
3.2.7	Ausreichende Konizitäten vorsehen	40
3.2.8	Hinterschneidungen vermeiden	40
3.2.9	Keine genauere Bearbeitung als nötig	44
3.2.10	Das Potenzial der freien Formgebung ausschöpfen	46
3.2.11	Position des Angusses bei der Formgestaltung beachten.	51
3.2.12	Kunststoff-Metall-Verbunde spannungsausgleichend gestalten	54
3.2.13	Löcher und Auskernungen kunststoffgerecht gestalten	60
3.2.14	Gewinde kunststoffgerecht gestalten	62
3.2.15	Formteile verfahrensgerecht optimieren	65
3.3	Prototypenfertigung mithilfe additiver Verfahren.	67
	Literatur Kapitel 3	69
4	Maßänderungen, Schwindung und Verzug	71
4.1	Einleitung.	71
4.2	Definitionen zur Schwindung	71
4.3	Ursache der Schwindung	74
4.4	Ursachen des anisotropen Schwindungsverhaltens	75
4.5	Ursachen des Verzugs	77
4.6	Beeinflussung von Schwindung und Verzug durch den Prozess.	79
4.7	Hilfsmittel zur Schwindungsvorhersage.	82
4.8	Toleranzen für Kunststoffformteile	83
4.8.1	Bestimmung der Toleranzgruppe	83
	Literatur Kapitel 4	88
5	Das Spritzgießwerkzeug, seine Bauarten und Aufgaben	91
5.1	Bezeichnungen am Spritzgießwerkzeug.	91
5.2	Einteilung der Werkzeuge	91
5.3	Aufgaben des Spritzgießwerkzeugs	93
5.3.1	Kriterien zur Einteilung der Werkzeuge in Gruppen	95
5.3.2	Prinzipielle Vorgehensweise bei der Werkzeugkonstruktion.	99
5.3.3	Bestimmung der Werkzeuggröße	104
5.3.3.1	Maximale Formnestzahl.	104
5.3.3.2	Zuhaltekraft.	105
5.3.3.3	Maximale Aufspannfläche	106
5.3.3.4	Erforderlicher Öffnungshub.	106
5.3.4	Fließweg-Wanddickenverhältnis	107
5.4	Anordnung der Formnester in der Trennebene.	109

5.4.1	Allgemeine Forderungen	109
5.4.2	Darstellung der Lösungsmöglichkeiten	110
5.4.3	Kräftegleichgewicht des Werkzeugs beim Füllvorgang	110
5.4.4	Zahl der Trennebenen	112
5.4.4.1	Konstruktive Lösungsmöglichkeiten.....	113
Literatur Kapitel 5		113
6	Verfahren zur Abschätzung der Werkzeugkosten.....	115
6.1	Allgemeines.....	115
6.2	Verfahren zur Werkzeugkalkulation.....	116
6.3	Das Prinzip der Kostenfunktion	118
6.3.1	Kalkulationsgruppe I: Formnest (3.3.1–3.3.4 auszugsweise aus [6.9])	119
6.3.2	Kalkulationsgruppe II: Grundaufbau	119
6.3.3	Kalkulationsgruppe III: Grundfunktionseinheiten	121
6.3.4	Kalkulationsgruppe IV: Sonderfunktionseinheiten.....	122
6.4	Das Prinzip der Kostenähnlichkeit	123
6.5	Weitere Kalkulationsansätze	126
6.5.1	Die ressourcenorientierte Prozesskostenrechnung.....	126
6.5.2	Das Prinzip der hierarchischen Ähnlichkeitssuche	127
6.6	Aktuelle Rechenprogramme	128
Literatur Kapitel 6		130
7	Eintritt der Schmelze in das Werkzeug, ihre Verteilung und der Füllvorgang der Kavitäten	133
7.1	Beschreibung des Angussystems	133
7.2	Prinzip und Definition verschiedener Angusskanalarten	134
7.2.1	Normale Verteilerkanäle	134
7.2.2	Heißkanäle.....	135
7.2.3	Kaltkanäle	135
7.3	Anforderungen an das Angussystem	136
7.4	Angussformen	137
7.5	Angussbuchse	139
7.6	Gestaltung der Verteilerkanäle	142
7.7	Gestaltung der Angussstege (Anschnitte)	145
7.7.1	Lage des Anschnittes am Formteil	149
7.8	Verteilerkanäle für hochgefüllte Schmelzen	154
7.9	Verteilerkanäle und Anschnitte für vernetzende Formmassen	156
7.9.1	Elastomere	156
7.9.2	Duroplaste	157
7.10	Rheologische Werkzeugauslegung	157

7.10.1	Rheologische Grundlagen [7.39]	159
7.10.1.1	Ermittlung des viskosen Fließverhaltens unter Scherung mit Hilfe des Kapillarrheometers	168
7.10.1.2	Dehnviskosität	172
7.10.1.3	Gleichungen zur Druckverlustberechnung in Angüssen und Angussverteilern	173
7.11	Auslegung von Angüssen und Angussverteilern für vernetzende Formmassen	176
7.11.1	Elastomere	176
7.11.1.1	Berechnung des Füllvorgangs	176
7.11.1.2	Einfluss der Verarbeitungseigenschaften ermittelt anhand von Verarbeitungsfenstern	177
7.11.1.3	Kritische Anmerkungen und Beispiele zum Modell des Verarbeitungsfensters	179
7.11.2	Duroplaste	181
	Literatur Kapitel 7	184
8	Ausführung der Angüsse	187
8.1	Stangenanguss	187
8.2	Band- oder Filmanguss	189
8.3	Schirmanguss	191
8.4	Ringanguss	193
8.5	Tunnelanguss	195
8.6	Abreiß-Punktanguss – Dreiplattenwerkzeug	197
8.7	Vorkammer-Punktanguss	200
8.8	Angussloses Anspritzen	204
8.9	Werkzeuge mit Isolierkanalverteilern [8.15]	204
8.10	Temperierte Angussysteme – Heißkanal [8.16]	208
8.10.1	Heißkanalsysteme	208
8.10.1.1	Wirtschaftliche Vor- und Nachteile der Heißkanalsysteme	210
8.10.1.2	Heißkanäle für verschiedene Anwendungen und neue Möglichkeiten	211
8.10.1.3	Aufbau und Bestandteile eines Heißkanalsystems ..	212
8.10.1.3.1	Außen- und Innenbeheizte Systeme	214
8.10.1.4	Angussbuchse	217
8.10.1.5	Schmelzefilter	218
8.10.1.6	Verteilerblöcke	219
8.10.1.7	Verteilerbalken	220
8.10.1.8	Heißkanaldüsen (Anspritzdüsen, Anschnittdüsen) ..	222
8.10.1.9	Daten zur Auslegung von Heißkanalverteilern	225

8.10.1.9.1	Verteilerbalken	225
8.10.1.9.2	Düsenauslegung	227
8.10.1.9.3	Hinweise zum Betrieb von Heißkanälen	228
8.10.1.10	Elemente zur Beheizung von Heißkanalsystemen ..	228
8.10.1.10.1	Beheizung von Düsen	228
8.10.1.10.2	Beheizung von Verteilern	229
8.10.1.10.3	Ermittlung der Heizleistung	231
8.10.1.10.4	Temperaturregelung in Heißkanälen	231
8.10.1.10.5	Anordnung der Temperaturfühler	232
8.10.2	Kaltkanäle	233
8.10.2.1	Kaltkanalsysteme für Elastomer-Spritzgießwerkzeuge	234
8.10.2.2	Kaltkanalwerkzeuge für Duroplaste	240
Literatur Kapitel 8		242
9	Entlüften der Werkzeuge	247
9.1	Passive Entlüftung	249
9.2	Aktive Entlüftung	258
9.3	Entlüften beim Gasgedruckspritzgießen	260
Literatur Kapitel 9		262
10	Die thermische Auslegung	265
10.1	Kühlzeit (Temperierzeit)	266
10.2	Kühlzeitermittlung bei Thermoplasten	270
10.2.1	Kühlzeit bei asymmetrischen Wandtemperaturen	271
10.2.2	Kühlzeit bei anderen Geometrien	272
10.3	Temperaturleitfähigkeit verschiedener Formmassen	276
10.3.1	Die Temperaturleitfähigkeit duroplastischer Formmassen	277
10.4	Die Wärmeströme und die Temperierleistung	278
10.4.1	Thermoplaste	278
10.4.2	Vernetzende Formmassen [10.14]	283
10.5	Analytische thermische Berechnung anhand des spezifischen Wärmestroms (globale Auslegung)	286
10.5.1	Berechnungsablauf	286
10.5.1.1	Kühlzeitberechnung	290
10.5.1.2	Wärmestrombilanz	290
10.5.1.3	Temperiermitteldurchsatz	294
10.5.1.4	Temperierkanaldurchmesser	294
10.5.1.5	Lage der Temperierkanäle	299
10.5.1.6	Auslegung des Temperierkreislaufes	302
10.5.1.6.1	Temperiermitteldurchsatz	302

10.5.1.6.2	Berechnung des Druckbedarfs und der Pumpleistung	303
10.5.2	Beispiel für die Auslegung von Temperierkanälen [10.25]	304
10.6	Berechnung der Heizleistung von Werkzeugen für vernetzende Werkstoffe	309
10.7	Thermische Auslegung von Werkzeugen für vernetzende Kunststoffe [10.29]	309
10.7.1	Wärmehaushalt	309
10.7.2	Temperaturverteilung	314
10.8	Einfache Abschätzung der unterschiedlichen Wärmeströme an kritischen Stellen	315
10.9	Numerische Berechnung zur thermischen Auslegung	317
10.9.1	Thermische Formteilsimulation	318
10.9.2	Simulation von Temperierkanälen	321
10.9.3	Simulation von Heizelementen	323
10.9.4	Simulation von Werkzeugelementen	324
Literatur	Kapitel 10	325
11	Temperierkonzepte	329
11.1	Praktische Ausführung der Kühlkanäle	329
11.1.1	Temperiersysteme für Kerne und rotationssymmetrische Formteile	329
11.1.2	Temperiersysteme für flächige Formteile	336
11.1.3	Abdichten der Temperiersysteme	340
11.1.4	Konturnahe Temperierung	341
11.1.5	Empirische Praxis zur Kompensation des Verzugs aus Wärmestromdifferenzen in Ecken bei thermoplastischen Formteilen	342
11.1.5.1	Änderung der Eckengeometrie	342
11.1.5.2	Partielle Anpassung der Wärmeströme	343
11.2	Praktische Ausführung der elektrischen Beheizung von Duroplastwerkzeugen	344
11.3	Temperiergeräte für Spritzgieß- und Presswerkzeuge	345
11.3.1	Aufgabe, Prinzip, Einteilung	345
11.3.2	Kontinuierlich arbeitende Anlagen	346
11.3.2.1	Durchflusstemperierung	346
11.3.2.2	Temperiergeräte mit eigenem Kreislauf	346
11.3.2.3	Diskontinuierlich arbeitende Temperieranlagen (Impulskühlung)	348
11.3.2.4	Diskontinuierlich mit alternativ wechselnder Temperatur arbeitende Temperieranlagen (sogenannte variotherme Temperierung)	350

11.3.3	Regelung	352
11.3.3.1	Regelungsarten	352
11.3.3.1.1	Regelung der Mediumstemperatur	352
11.3.3.1.2	Regelung der Werkzeugtemperatur	353
11.3.3.1.3	Kaskadenregelung	353
11.3.4	Auswahl eines geeigneten Temperiergeräts	355
11.3.5	Wartung, Reinigung	357
Literatur Kapitel 11		358
12	Mechanische Auslegung von Spritzgießwerkzeugen	363
12.1	Die Werkzeugverformung	363
12.2	Analyse und Bewertung der Verformungen	364
12.3	Grundlagen zur Beschreibung der Deformationen	366
12.3.1	Einfache Rechnung zur Abschätzung der Spaltbildung	367
12.3.2	Genauere Rechnung zur Abschätzung der Spaltbildung und Verhinderung von Schwimmhäuten und Graten	368
12.4	Das Überlagerungsverfahren	370
12.4.1	Zusammengeschaltete Federn als Ersatzelemente	371
12.4.1.1	Parallelschaltung von Elementen	372
12.4.1.2	Reihenschaltung von Elementen	372
12.5	Ermittlung der Werkzeugwanddicken und ihrer Verformungen	373
12.5.1	Darstellung der einzelnen Belastungsarten und Verformungen	374
12.5.2	Dimensionierung kreiszylindrischer Formnester	375
12.5.3	Dimensionierung von nicht-runden Werkzeugkonturen	376
12.5.4	Dimensionierung der Werkzeugplatten	378
12.6	Vorgehen bei der Dimensionierung einer Werkzeugwand unter Forminnendruck	379
12.7	Verformung von Backenwerkzeugen unter Forminnendruck (auch gültig für Schieberwerkzeuge)	380
12.8	Vorbereitungen der Verformungsrechnungen	387
12.8.1	Vereinfachungen der Geometrie	389
12.8.2	Hinweise zur Wahl der Randbedingungen	390
12.9	Rechenbeispiele	393
12.10	Identifizierung kritischer Formteilbereiche und deren Auslegung im Rahmen eines Virtual Prototyping	403
12.11	Versatz von Kernen und Einlege teilen	407
12.11.1	Versatz von Kernen	407
12.11.1.1	Abschätzung des maximalen Kernversatzes	407
12.11.1.2	Kernversatz am runden Kern mit Punktanschnitt seitlich am Fuß (starre Einspannung)	408

12.11.1.3	Kernversatz am runden Kern mit Schirmanguss (starre Einspannung)	411
12.11.1.4	Kernversatz bei verschiedenen Anguss- und Anschnittformen (starre Einspannung)	416
12.11.1.5	Numerische Berechnung des Kernversatzes	418
12.11.2	Versatz von Einlegeteilen	419
12.11.2.1	Analytische Berechnung der Verformung von Metalleinlegeteilen am Beispiel zylindrischer Walzenkörper [12.19]	419
12.11.2.2	Numerische Berechnung der Verformung von Einlegeteilen	422
12.11.3	Konstruktionsbeispiele für die Kerneinspannung und für die Zentrierung tiefer Werkzeuge	423
12.12	Weitere Belastungen	425
12.12.1	Die Abschätzung der zusätzlich auftretenden Belastungen	425
	Literatur Kapitel 12	426
13	Zentrierung, Führung und Handling der Werkzeuge	429
13.1	Aufgabe der Führung und Zentrierung	429
13.2	Zentrierung des Werkzeugs auf der Schließeinheit	430
13.3	Innere Führung und Zentrierung	431
13.4	Führung und Zentrierung bei großen Werkzeugen	439
	Literatur Kapitel 13	442
14	Werkzeugwechsel- und Spannsysteme	445
14.1	Werkzeugwechselsysteme	445
14.2	Manuell-mechanisch-arbeitende Werkzeugwechselsysteme	447
14.3	Hydraulisch arbeitende Spannsysteme	453
14.3.1	Adaptive Spannsysteme	453
14.3.2	Integrierte Spannsysteme	455
14.4	Magnetsysteme zum Spannen von Spritzgießwerkzeugen	457
14.5	Automatische Kupplungssysteme für Energietransport und Sensorik	460
14.6	Auswerferkupplungssysteme	463
14.7	Transportmittel für den Werkzeugwechsel	464
	Literatur Kapitel 14	468
15	Entformen gespritzter Teile	469
15.1	Übersicht über Entformungsarten	469
15.2	Auslegung des Entformungssystems – Entformungskräfte und Öffnungskräfte [15.5]	470
15.2.1	Allgemeines	470

15.2.2	Möglichkeiten zur Bestimmung der Entformungskräfte	474
15.2.2.1	Haftreibungskoeffizienten zur Ermittlung von Entformungs- und Öffnungskräften	474
15.2.2.2	Rechnerische Abschätzmethode für zylindrische Hülsen	476
15.2.2.3	Rechteckige Hülsen	480
15.2.2.4	Konische Hülsen	480
15.2.2.5	Zusammenstellung verschiedener Grundfälle	481
15.2.3	Entformungskraft für komplexe Formteile am Beispiel eines Lüfterrades	484
15.2.4	Numerische Berechnung von Entformungsvorgängen (bei Elastomerformteilen).	488
15.2.5	Abschätzung der Öffnungskräfte	492
15.2.5.1	Zustandsverlauf im p-v-T-Diagramm bei unterschiedlichen Werkzeugsteifigkeiten.	493
15.2.5.2	Mittlere Öffnungskräfte	493
15.2.5.3	Gesamte Öffnungskraft.	493
15.3	Auswerferarten	494
15.3.1	Gestaltung und Dimensionierung von Auswerferstiften	494
15.3.2	Angriffsorte von Stiften und anderen Entformungselementen	498
15.3.3	Aufnahme der Auswerferstifte in den Auswerferplatten	503
15.4	Betätigung und Betätigungsmittel für das Auswerfen	505
15.4.1	Betätigungsarten und Wahl des Angriffsortes.	505
15.4.2	Betätigungsmittel	505
15.5	Besondere Auswerfersysteme	510
15.5.1	Doppeletagenauswurf (zweifacher Auswerferweg).	510
15.5.2	Gemischtes Auswerfen.	512
15.5.3	Dreiplattenwerkzeug.	513
15.5.3.1	Unterteilung der Auswerferbewegung durch Zuganker	514
15.5.3.2	Unterteilung der Auswerferbewegung durch einen Klinkenzug.	514
15.5.3.3	Entformen auf der Düsenseite	516
15.6	Auswerferrückzug.	516
15.7	Entformen von Formteilen mit Hinterschneidungen	518
15.7.1	Entformen von Formteilen mit Hinterschneidungen durch Abschieben	519
15.7.2	Zulässige Hinterschnitthöhe am Beispiel von Schnappverbindungen	520
15.8	Entformen von Gewinden.	522
15.8.1	Entformen von Formteilen mit Innengewinde.	522

15.8.1.1	Abstreiferwerkzeuge	522
15.8.1.2	Zusammenklappende Kerne	523
15.8.1.3	Werkzeuge mit Wechselkernen	525
15.8.2	Abschraubwerkzeuge	525
15.8.3	Entformen von Formteilen mit Außengewinde	533
15.9	Hinterschneidungen in nicht rotationssymmetrischen Formteilen	534
15.9.1	Innere Hinterschneidungen	534
15.9.2	Äußere Hinterschneidungen	534
15.9.2.1	Schieberwerkzeuge	536
15.9.2.2	Backenwerkzeuge	543
15.9.3	Werkzeuge mit Kernzügen	548
	Literatur Kapitel 15	550
16	Rechnerunterstützte Werkzeugauslegung und CAD-Einsatz in der Werkzeugkonstruktion	553
16.1	CAD-Einsatz in der Werkzeugkonstruktion	553
16.1.1	Einleitung	553
16.1.1.1	Assoziativität, Parametrik/Varimetrik, Feature-Verarbeitung, Datenformate	554
16.1.2	CAD-Anwendung im Werkzeugbau	556
16.1.2.1	Geometrierzeugung/Modellierung	556
16.1.3	Integrierte Funktionalitäten für den Werkzeugbau	560
16.1.3.1	Anwendungsspezifische Funktionserweiterung	563
16.1.3.2	Möglichkeiten des Concurrent-Engineering durch CAD-Einsatz	563
16.2	Spritzgießsimulation	566
16.2.1	Vorteile der Spritzgießsimulation während der Entwicklungsphase	567
16.2.2	Reduktion der Kosten durch den Einsatz von Simulationstechniken	568
16.2.3	Erstellung einer Spritzgießsimulation	570
16.2.4	Auslegung des Angussystems	573
16.2.5	Schwindungs- und Verzugsberechnung	575
16.2.6	Simulation von Spritzgießsonderverfahren	575
16.2.7	Optimierte Spritzgießsimulation	579
	Literatur Kapitel 16	581
17	Spezielle Werkzeuge zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit	583
17.1	Familienwerkzeuge	583
17.2	Etagenwerkzeuge	585
17.2.1	Etagenwendetechnik – Würfeltechnik	590

17.2.2	Etagenwendetechnik – Quader mit umlaufenden Kavitäten . . .	594
17.3	Werkzeuge mit modular umsetzbaren Kavitäten.	595
17.3.1	Paternoster-Werkzeuge.	595
17.3.2	Shuttle-Molding.	597
17.4	Tandemwerkzeuge	599
17.4.1	Tandemwendetechnik.	603
17.5	Injection-Transfer-Molding-Werkzeuge (ITM)	604
17.5.1	Werkzeuge für das ITM-Verfahren in der Elastomerverarbeitung.	604
17.5.2	Werkzeuge für das ITM-Verfahren in der Thermoplastverarbeitung.	608
	Literatur Kapitel 17	609
18	Werkzeuge für Spritzgießsonderverfahren	613
18.1	Mehrkomponenten-Spritzgießen.	613
18.1.1	Additionsverfahren.	613
18.1.2	Sequenzverfahren.	620
18.1.2.1	Intervall-Spritzgießen.	621
18.1.2.2	Sandwich-Spritzgießen.	621
18.2	Fluidinjektionstechnik	626
18.2.1	Verfahrensvarianten.	626
18.2.2	Verfahrenstechnische Aspekte	627
18.2.3	Injektortechnologie.	630
18.2.4	Injektoren für die Gasinjektionstechnik.	630
18.2.5	Injektoren für die Wasserinjektionstechnik.	631
18.2.5.1	Selbstbetätigte Injektoren.	633
18.2.5.2	Fremdbetätigte Injektoren	634
18.2.5.3	Ziehende und stechende Injektoren	635
18.2.5.4	Axial- und Radialinjektoren	636
18.2.5.5	Generelle Gestaltungshinweise für WIT-Injektoren. .637	
18.2.6	Designrichtlinien für Bauteile und Werkzeuge bei der FIT	638
18.2.6.1	Stabförmige FIT-Formteile	638
18.2.6.2	Flächige Formteile mit Rippen.	641
18.2.6.3	Formteile mit dickwandigen Bereichen	643
18.2.6.4	Mehrkavitätenwerkzeuge.	644
18.2.6.5	Gestaltung von Nebenkavitäten.	645
18.3	Thermoplast-Schaumspritzgießen.	646
18.3.1	Formteilmgestaltung	648
18.3.1.1	Wanddicken, Wanddickensprünge	648
18.3.1.2	Rippen, Dome, Schnapphaken	651
18.3.1.3	Fließhindernisse	653

18.3.2	Angusssystem	654
18.3.2.1	Balancierung des Angusssystems	654
18.3.2.2	Angussbuchse	655
18.3.2.3	Anschnittarten	656
18.3.2.4	Lage der Anspritzpunkte	658
18.3.3	Temperierung beim Schaumspritzgießen	659
18.3.4	Entlüftung (vgl. Kapitel 9)	661
18.3.5	Werkzeugmaterialien beim Schaumspritzgießen	662
18.3.6	Möglichkeiten zur Verbesserung der Oberflächenqualität beim Schaumspritzgießen	662
18.3.6.1	„Atmendes“ Werkzeug	662
18.3.6.2	Gasgedruckverfahren	665
18.3.6.3	Werkzeuginnendrucke beim Schaumspritzgießen ..	668
18.3.6.4	Verwendung von Oberflächenstrukturierungen ...	669
18.3.6.5	Verwendung von Beschichtungen im Werkzeug ...	669
18.3.6.6	Variotherme Temperierung	670
18.4	Spritzprägen	672
18.4.1	Verfahrensvarianten	673
18.4.2	Werkzeugtechnik für das Spritzprägen	676
18.4.3	Anwendungsgebiete, Vor- und Nachteile des Spritzprägens ...	677
18.5	Hinterspritzen	679
18.5.1	Einleitung	679
18.5.2	Einstufige Dekorationsverfahren	680
18.5.2.1	Textilhinterspritztechnik/Textilmelttechnik	680
18.5.2.2	In-Mold-Labeling (IML)	680
18.5.2.3	In-Mold-Decoration (IMD)	681
18.5.2.4	In-Mold-Decoration/Insert-Molding/Insert-Molding- Decoration	681
18.5.2.5	Folienhinterspritztechnik (FHST)/In-Mold-Surfacing Technik (ISF)/Paintless-Film-Molding/In-Mold- Decoration (IMD-3D/F)	681
18.5.2.6	In-Mold Coating (IMC)/In-Mold-Painting (IMP)	685
18.5.2.7	Mehrfarbenspritzgießen/In-Lay-Technik	685
18.5.2.8	Kombinierter Tiefzieh- und Hinterspritzprozesses ..	686
18.5.3	Werkzeugtechnik	687
18.6	Spritzgießen von Mikroformteilen [18.182]	693
18.6.1	Werkzeugtechnik und Prozessführung	695
18.6.2	Herstellungsverfahren für Mikrokavitäten	698
18.7	Flüssigsilikonverarbeitung [18.199]	699
18.7.1	Maschinen- und Anlagentechnik für die LSR-Verarbeitung	699
18.7.2	Werkzeugtechnik	701

18.8	Spritzgießen von überlangen und endlosen Bauteilen	704
18.8.1	Prozessführung	705
18.8.2	Werkzeugtechnik für das Exjection-Verfahren	707
Literatur Kapitel 18		709
19	Messen in Spritzgießwerkzeugen	723
19.1	Werkzeuginnendrucksensoren	724
19.1.1	Positionierung von Werkzeuginnendrucksensoren	724
19.1.2	Sensoren zur Messung des Werkzeuginnendrucks	725
19.1.2.1	Direkt messende Werkzeuginnendrucksensoren ..	726
19.1.2.2	Indirekt messende Werkzeuginnendrucksensoren..	732
19.2	Temperatursensoren	734
19.2.1	Temperatursensoren mit Schmelzekontakt	734
19.2.1.1	Kontakttemperatursensoren	735
19.2.1.2	IR-Sensoren	736
19.3	Prozessoptimierung mit Werkzeuginnendrucksensoren	737
19.4	Produktions-/Qualitätsüberwachung und Qualitätsdokumentation mit Sensoren	742
19.4.1	Online-Qualitätsüberwachung auf der Basis von Prozessgrößen	743
19.4.2	Online-Qualitätsüberwachung auf Basis von Qualitätsmodellen	744
19.5	Eingebettete Datenerfassungs- und Diagnosesysteme in Spritzgießwerkzeugen	745
19.6	Messtechnik beim Einfahren und zur praktischen Überprüfung von Spritzgießwerkzeugen im Betrieb [19.36]	747
19.7	Einsatz der IR-Thermografie [19.36]	749
19.7.1	Grundlagen	749
19.7.2	Anwendungen der Thermografie bei Spritzgießwerkzeugen...	749
19.7.3	Ist-Analysen an Werkzeugen und Produktionsprozessen	750
19.7.4	Werkzeugwandtemperatur/Formteilerflächentemperatur...	751
19.7.5	Einsatzmöglichkeiten von IR-Thermografie	752
19.7.5.1	Thermografie der Formteile	752
19.7.5.2	Thermografie an Werkzeugen	753
19.7.6	Erkennung von Temperierfehler an Werkzeugen mittels IR-Thermografie	753
19.7.6.1	Thermografie an Heißkanal-Systemen	755
19.7.6.2	Verstopfte Kühlbohrungen	756
19.7.7	Optimierungsbeispiel Stoßfänger	756
Literatur Kapitel 19		760

20	Maßnahmen zur Beseitigung von Verarbeitungsfehlern beim Spritzgießen	765
	Literatur Kapitel 20	779
21	Instandhaltung von Spritzgießwerkzeugen	781
21.1	Instandhaltung	781
21.2	Vorgehensweise zur planmäßigen Werkzeug-Instandhaltung	783
21.2.1	Datenerfassung	783
21.2.2	Lagerung der Werkzeuge	785
21.2.3	Anforderungen an das Werkzeuglager	786
21.3	Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten	787
21.3.1	Pflege und Wartung der Werkzeuoberflächen	788
21.3.1.1	Wischen, Bürsten und Polieren	788
21.3.1.2	Reinigen durch Strahlen	789
21.3.1.2.1	Trocken-Nassdampf- oder Heißwassersprühstrahler	790
21.3.1.2.2	Organische Strahlmittel	790
21.3.1.2.3	Reinigen mit Trockeneis	790
21.3.1.2.4	Reinigen mit Laser	791
21.3.2	Reinigen mit Ultraschall	792
21.4	Pflege und Wartung der Temperiersysteme	793
21.5	Pflege und Wartung des Heiz- und Regelsystems	794
21.6	Pflege und Wartung des Angussystems	795
21.7	Pflege und Wartung von Gleitführungen	795
21.8	Pflegemaßnahmen vor der Einlagerung	796
21.9	Reparaturen und Änderungen an Spritzgießwerkzeugen	796
21.9.1	Mechanische Nacharbeit und Austausch von Teilen oder Baugruppen	797
21.9.2	Einsetzen oder Einlöten von Stiften oder Kernen	799
21.9.3	Reparaturen und Änderungen durch Materialauftrag	800
21.9.3.1	Laserstrahlschweißen	801
21.9.3.2	Elektrische Schweißverfahren	803
21.9.3.3	Werkzeugreparaturen mit „Plastik-Stahl“	805
	Literatur Kapitel 21	805
22	Standardisierung – Werkzeugnormalien	809
	Literatur Kapitel 22	824
23	Werkstoffe und Beschichtungen für den Werkzeugbau	825
23.1	Stähle	826
23.2	Nichteisenmetallische Werkstoffe	829
23.2.1	Kupferlegierungen	829

23.2.2	Zink und dessen Legierungen	831
23.2.3	Aluminiumlegierungen	832
23.2.4	Zinn-Wismut-Legierungen	835
23.2.5	Keramische Werkstoffe	836
23.3	Galvanisch abgeschiedene Werkstoffe	836
23.4	Oberflächenbehandlung von Stählen für Spritzgießwerkzeuge	837
23.4.1	Generelle Hinweise	837
23.4.2	Thermische Behandlungsverfahren	839
23.4.3	Thermochemische Behandlungsverfahren	839
23.4.3.1	Einsatzhärten	839
23.4.3.2	Nitrieren	841
23.4.3.3	Borieren	842
23.4.4	Elektrochemische Behandlungsverfahren	842
23.4.4.1	Hartverchromen	843
23.4.4.2	Vernickeln	843
23.4.5	Beschichten bei niedrigen Drücken	844
23.4.5.1	Chemische Gasphasenabscheidung, CVD-Verfahren	845
23.4.5.2	Physikalische Gasphasenabscheidung, PVD-Verfahren	846
23.4.6	Laserstrahloberflächenbehandlung (LOB)	849
23.4.6.1	Laserstrahlhärten und -umschmelzen	850
23.4.6.2	Laserstrahllegieren, -dispergieren und -beschichten	851
23.4.7	Lamcoat-Beschichtung	851
	Literatur Kapitel 23	852
24	Fertigungsverfahren für Spritzgießwerkzeuge	857
24.1	Spanende Bearbeitungsverfahren	860
24.1.1	Zerspanung mit definierter Schneide	860
24.1.1.1	Drehen	860
24.1.1.2	Bohren	861
24.1.1.3	Fräsen	861
24.1.1.3.1	Konventionelle Fräsbearbeitung	862
24.1.1.3.2	HSC-Fräsen	863
24.1.1.3.3	Hartfräsen	864
24.1.1.3.4	Fünfbachsbearbeitung	865
24.1.1.4	Verfahrensabgrenzung	865
24.1.2	Zerspanung mit undefinierter Schneide	866
24.1.2.1	Flachschleifen	866
24.1.2.2	Koordinatenschleifen	867
24.1.2.3	Strahl läppen	867

	24.1.2.4	Druckfließbläppen.	867
24.2		Abtragende Fertigungsverfahren	868
	24.2.1	Funkenerosives Abtragen (EDM, Electric-Discharge-Machining)	868
	24.2.1.1	Funkenerosives Senken	868
	24.2.1.2	Funkenerosives Schneiden mit Drahtelektroden.	872
	24.2.2	Abtragen durch elektrochemische Auflösung (ECM, Electric-Chemical-Machining)	873
	24.2.2.1	Elektrochemisches Polieren	873
	24.2.2.2	Elektrochemisches Ätzen	874
24.3		Polieren	877
	24.3.1	Theorien zum Materialabtrag bei der Politur.	877
	24.3.2	Maschinensysteme	878
	24.3.3	Aufbau und Zusammensetzung der Werkzeuge	879
	24.3.3.1	Poliermittelträger	879
	24.3.3.2	Poliermittel.	880
24.4		Laser-Carving	881
24.5		Additive Fertigung für Spritzgießwerkzeuge.	884
	24.5.1	Einleitung	884
	24.5.2	Direkte additive Fertigung.	887
	24.5.2.1	Stereolithographie.	889
	24.5.2.2	Poly-Jet-Verfahren für duroplastische Werkzeugeinsätze	890
	24.5.2.3	Schmelzeschichten/Fused-Layer-Modeling.	891
	24.5.2.4	Selektives Lasersintern von Metallen.	893
	24.5.2.5	Selektives Laserschmelzen von Stählen und Metallen	895
	24.5.2.6	Nachbearbeitung von additiv gefertigten Bauteilen .	902
24.6		Hybride Fertigungsstrategien	902
24.7		Herstellung von Spritzgießformen und Formeinsätzen durch Gießen . .	904
	24.7.1	Gießen in verlorenen Formen mit Dauermodellen	907
	24.7.1.1	Sandgießen.	907
	24.7.1.2	Maskenformverfahren	909
	24.7.1.3	Shaw-Verfahren	911
	24.7.2	Gießen in verlorenen Formen mit verlorenen Modellen.	911
	24.7.2.1	Feingießen	911
	24.7.2.2	Vollformgießen	913
	24.7.2.3	Verfahren in Dauerformen.	914
	24.7.2.4	Kokillengießen.	915
	24.7.2.5	Druckgießen.	915
	24.7.2.6	Harzabgießen.	917
	24.7.2.7	Vakuumgießen.	917

24.7.2.8	Metallspritzen	918
24.7.2.9	Galvanoformen	919
24.7.3	Wahl des Gießverfahrens beim Werkzeugbau	922
24.8	Einsenken	923
Literatur Kapitel 24		927
Stichwortverzeichnis.		935

Vorwort

■ Zur 7. Auflage

Spritzgießwerkzeuge sind fast immer Unikate. Sie werden mit höchster Präzision hergestellt und müssen im Dauereinsatz unter hohen mechanischen und thermischen Belastungen Formteile größter Gleichmäßigkeit oft millionenfach herstellen. Dabei wird unbedingte Zuverlässigkeit erwartet, denn nur dann kann der Spritzgießer, der vielfach auch Zulieferer für andere Fertigungen ist (z. B. für die Automobilindustrie), erfolgreich und wirtschaftlich arbeiten sowie die produzierten Formteile termingerecht ausliefern.

Die Zuverlässigkeit, die man von den Werkzeugen im täglichen Einsatz erwartet, verlangt ein wohlüberlegtes Planen und Gestalten von Formteil und Werkzeug. Dabei sind im Hinblick auf eine wirtschaftliche Produktion formteil- und konstruktionsabhängige Festlegungen zu treffen sowie Werkstoff- und Kostenfragen zu klären.

Eine sorgfältige gemeinsame Planung und Zusammenarbeit aller am gesamten Prozess Beteiligten, angefangen vom Designer, dem Konstrukteur, dem Werkzeugmacher und dem Spritzgießer wäre dabei wünschenswert. Leider findet eine solche gemeinsame Planung jedoch so gut wie nie statt, vielmehr wird fast immer in vollständiger Arbeitsteilung nebeneinander gearbeitet. Erschwerend kommt noch hinzu, dass Werkzeuge sehr häufig nach rein kaufmännischen Gesichtspunkten beschafft werden.

Für organisatorische Fehler dieser Art bietet dieses Buch keine Lösungen an. Es soll vielmehr allen Beteiligten der Entscheidungskette die Regeln näher bringen, nach denen Formteile und Werkzeuge ausgelegt werden sollten, damit die in der Anschaffung sehr teuren Werkzeuge mit ihren eminenten Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit der späteren Produktion zum gewünschten Erfolg führen.

So wurde in dieser Neuauflage insbesondere auf die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Materialeigenschaften, Prozess und Bauteilqualität Wert gelegt. Es wurden Kapitel ergänzt, die den Spritzgießprozess und die Eigenschaften der Kunststoffe

beschreiben. Dadurch wird es dem Leser möglich, Auswirkungen von Material und Prozess auf die Auslegung von Spritzgießwerkzeugen und die daraus resultierende Bauteilqualität besser zu verstehen und frühzeitig in den Entwicklungsprozess einfließen zu lassen.

Die Ausführungen zu den Fertigungsverfahren für Spritzgießwerkzeuge wurden überarbeitet und zeigen die hervorragenden Möglichkeiten, welche heute das so genannte Rapid Tooling bieten. Zu diesem Gebiet, das in den letzten Jahren durch die Entwicklung variothermer Prozessführung und konturnaher Temperierung stark an Bedeutung gewonnen hat, werden interessante Konstruktionsbeispiele speziell für die Auslegung von konturnahen Kühlsystemen gezeigt, die geeignet sind, die Qualität der Formteile zu verbessern und die Zykluszeit zu reduzieren.

Ausführlich werden zudem die Spritzgießsondervverfahren und spezielle Werkzeugkonstruktionen behandelt, die heute zusätzlich zum Ausformen und Abkühlen der Schmelze weitere Fertigungsschritte im Rahmen einer weitgehenden vollautomatischen Fertigung übernehmen. Die Ausführungen wurden grundlegend überarbeitet und um hochaktuelle Sondervverfahren ergänzt.

Weitere Schwerpunkte der Neuauflage sind die Prozessoptimierung, die Produktions- und Qualitätsüberwachung sowie die Überwachung der Werkzeuge im laufenden Betrieb. Vorgestellt werden die dazu erforderliche Messtechnik und Möglichkeiten zur Dokumentation der gewonnenen Prozessdaten, sodass im Gewährleistungsfall jederzeit ein Leistungsnachweis für das Werkzeug möglich ist.

In die Neuauflage sind zahlreiche Erkenntnisse aus diesbezüglichen Forschungsvorhaben eingeflossen, die großzügig von den öffentlichen Forschungsförderern und den Mitgliedern der Fördervereinigung des Instituts für Kunststoffverarbeitung an der RWTH Aachen finanziert wurden. Ohne diese materielle und ideelle Unterstützung ist ein solches Werk in der erforderlichen Praxisnähe nicht zu gestalten.

Wertvolle Anregungen haben wir durch das Studium der Literatur und vor allem immer wieder in Diskussionen auf Tagungen und Seminaren, bei Besuchen in der Industrie sowie bei Besichtigungen privater oder öffentlicher Forschungseinrichtungen erhalten, die sich in den Ausführungen zu den Problemen im Werkzeugbau und in den vorgeschlagenen Lösungsansätzen wiederfinden. Durch die Aufnahme in das Literaturverzeichnis bzw. durch Quellenangaben wollen wir nicht nur gesetzliche Auflagen erfüllen, sondern auch unsere Anerkennung für die erbrachte wissenschaftliche Leistung und unseren Dank für das zur Verfügung gestellte Bildmaterial zum Ausdruck bringen.

An der Überarbeitung der Neuauflage, die auf den vorhergehenden Ausgaben aufbaut und in allen Kapiteln soweit überarbeitet wurde, dass sie nach Meinung der Herausgeber dem heutigen Wissensstand entspricht, haben derzeitige und frühere wissenschaftliche Mitarbeiter und Studierende des Instituts für Kunststoffverarbei-

tung an der RWTH Aachen sowie befreundete Kollegen aus anderen Hochschuleinrichtungen und der Industrie mitgearbeitet, denen hiermit ebenso wie allen an den früheren Ausgaben Beteiligten herzlich gedankt sei.

Stellvertretend sei hier Herrn Dr.-Ing. M. Theunissen für die tatkräftige Mitarbeit aller genannt. Schließlich gilt unser Dank noch dem Carl Hanser Verlag, hier insbesondere Frau U. Wittmann, für die anschauliche und attraktive Gestaltung dieses Buches.

C. Hopmann

W. Michaeli

Februar 2018

**Hinweis:**

Die farbigen Abbildungen können Sie dem E-Book inside entnehmen.

Die Autoren

INSTITUT FÜR
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG
IN INDUSTRIE UND HANDWERK AN DER RWTH AACHEN



Univ.-Prof. Christian Hopmann



Seit 2011 ist Prof. Christian Hopmann Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung der RWTH Aachen University und Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Industrie und Handwerk an der RWTH Aachen. Er studierte Maschinenbau mit der Vertiefungsrichtung Kunststofftechnik an der RWTH Aachen und ist nach seiner Promotion im Bereich Spritzgießen in verschiedenen Positionen am IKV tätig. Nach mehreren Jahren in der kunststoffverarbeitenden Industrie übernahm er 2011 den Lehrstuhl und die Leitung des IKV. Er ist Gründungsprofessor des Aachener Zentrums für integrativen Leichtbau (AZL) und visiting professor der Beijing University of Chemical Technology. 2014 wurde er mit dem Innovationspreis des Landers NRW ausgezeichnet.

Prof. Georg Menges

Prof. Georg Menges wurde 1965 auf den neu gegründeten Lehrstuhl für Kunststoffverarbeitung an der Fakultät für Maschinenwesen der RWTH Aachen berufen. Er war bis 1987 in Personalunion Leiter des Instituts für Kunststoffverarbeitung (IKV) an der RWTH Aachen. In dieser Zeit baute er das Institut zu einer international anerkannten Einrichtung in Forschung und Lehre aus. Für seine großen Verdienste um die Kunststoffverarbeitung wurden ihm und dem Institut hohe nationale und internationale Auszeichnungen zuteil. Professor Georg Menges, der maßgeblich die Entwicklung der Kunststofftechnik bestimmt und vorangetrieben hat, gilt als einer der großen Pioniere der Kunststoffverarbeitung.

Prof. Walter Michaeli

Prof. Walter Michaeli war von 1988 bis 2011 Inhaber des Lehrstuhls für Kunststoffverarbeitung der RWTH Aachen und Inhaber des Lehrstuhls Kunststoffverarbeitung. Michaeli studierte Fertigungstechnik an der RWTH Aachen, nach über acht Jahren Industrietätigkeit übernahm er 1988 als Direktor die Leitung des IKV. Er war Mitglied in mehreren bedeutenden wissenschaftlichen Akademien und in der Jury des Deutschen Zukunftspreises. Für seine Entwicklung der Wasserinjektionstechnik beim Spritzgießen von Kunststoffen erhielt Professor Michaeli im Jahr 2002 den Otto von Guericke-Preis der AiF.

Paul Mohren

Paul Mohren schloss seine Ausbildung an der Ingenieursschule Aachen 1963 ab und gestaltete ab da das noch junge Forschungsinstitut IKV als Betriebsingenieur mit. Aufgrund seiner Ausbildung und seiner Affinität zu Spritzgießwerkzeugen erarbeitete er die Erstausgabe des Buches Spritzgießwerkzeuge gemeinsam mit Prof. Menges.

Unter Mitwirkung

An der Neubearbeitung dieses Buches haben mitgewirkt:

Kapitel 1	neu gestaltet	Y. Zhang, M. Sc. RWTH Dr.-Ing. M. Theunissen
Kapitel 2	neu gestaltet	S. Koch, M. Sc. RWTH
Kapitel 3	überarbeitet	J. Onken, M. Sc. RWTH Dr.-Ing. M. Theunissen
Kapitel 4	überarbeitet	J. Onken, M. Sc. RWTH
Kapitel 5	überarbeitet	H. Dornebusch, M. Sc. RWTH
Kapitel 6	überarbeitet	Dipl.-Wirt.-Ing. B. Grümer P. Bibow, M. Sc. RWTH
Kapitel 7	überarbeitet	H. Dornebusch, M. Sc. RWTH
Kapitel 8	überarbeitet	M. Rieck, M. Sc. RWTH
Kapitel 10	mitgestaltet und überarbeitet	Dipl.-Ing. M. Schmitz Dr.-Ing. M. Theunissen
Kapitel 11	mitgestaltet und überarbeitet	T. Schneppe, M. Sc. RWTH Dr.-Ing. M. Theunissen
Kapitel 12	überarbeitet	Dipl.-Ing. M. Schmitz Dr.-Ing. M. Theunissen
Kapitel 13	überarbeitet	M. Röbig, M. Sc. RWTH
Kapitel 14	überarbeitet	Dipl.-Wirt.-Ing. B. Grümer
Kapitel 15	überarbeitet	Dipl.-Ing. S. Haase
Kapitel 16	grundlegend überarbeitet	C. Zimmermann, M. Sc. RWTH

Kapitel 17	überarbeitet	P. Ochotta, M. Sc. RWTH
Kapitel 18	mitgestaltet und grundlegend überarbeitet	M. Röbig, M. Sc. RWTH Dr.-Ing. M. Theunissen
Kapitel 19	mitgestaltet und überarbeitet	J. Heinisch, M. Sc. RWTH
Kapitel 20	überarbeitet	M. Orth, M. Sc. RWTH
Kapitel 21	mitgestaltet und überarbeitet	M. Orth, M. Sc. RWTH Dr.-Ing. M. Theunissen
Kapitel 22	überarbeitet	N. Lammert, M. Sc. RWTH
Kapitel 23	überarbeitet	M. Orth, M. Sc. RWTH
Kapitel 24	überarbeitet	N. Lammert, M. Sc. RWTH

1

Das Spritzgießverfahren

Das Spritzgießverfahren ist eines der wesentlichen Produktionsverfahren zur Verarbeitung von Kunststoffen. Es ermöglicht die wirtschaftliche Herstellung geometrisch nahezu beliebig komplexer Formteile in hohen Stückzahlen.

Als Vorteile dieses Verfahrens sind zu nennen:

- der direkte Weg vom Rohstoff zum Fertigteil
- die allenfalls geringe Nacharbeit der Formteile
- die Vollautomatisierbarkeit
- die hohe Reproduzierbarkeit
- die geringen Stückkosten bei großen Stückzahlen
- die kurzen Zykluszeiten auch bei komplexer Bauteilgeometrie
- die Möglichkeit der Funktions- und Prozessintegration
- die Fertigung komplexer Produkte in integrierten Prozessen

Die Bandbreite der herstellbaren Formteile reicht von Mikrobauteilen bis zu großen Erdtanks mit Schussgewichten von 10^{-6} kg bis 10^2 kg. Wesentliche Einschränkungen bestehen hinsichtlich der Wanddicke, die einige Millimeter in der Regel nicht übersteigen sollte, sowie der Gestalt des Formteils, die die Entformbarkeit aus dem Werkzeug voraussetzt [1.1].

Als zentrales Element des Spritzgießprozesses erfüllt das Spritzgießwerkzeug wesentliche technologische Aufgaben. Zu diesen gehört die Aufnahme und Verteilung der Schmelze, die Ausformung des Formteils, die Erstarrung der Schmelze und das Entformen des Formteils. Das Spritzgießwerkzeug besteht als Fertigungseinheit aus unterschiedlichen Funktionskomplexen, die diese Aufgaben erfüllen. Die prozessorientierte Auslegung der einzelnen Funktionskomplexe ermöglicht die Integration weiterer Funktionen in das Spritzgießwerkzeug. Aufgrund der Komplexität der Spritzgießwerkzeuge und der unterschiedlichen Anforderungen an das Werkzeug sowie die anwendungsbezogene Gestaltung der Funktionskomplexe sind Spritzgießwerkzeuge meist Unikate.

■ 1.1 Ablauf des Spritzgießprozesses

Die Herstellung der Formteile erfolgt diskontinuierlich in Zyklen. Der Ablauf eines Zyklus ist schematisch in Bild 1.1 dargestellt.

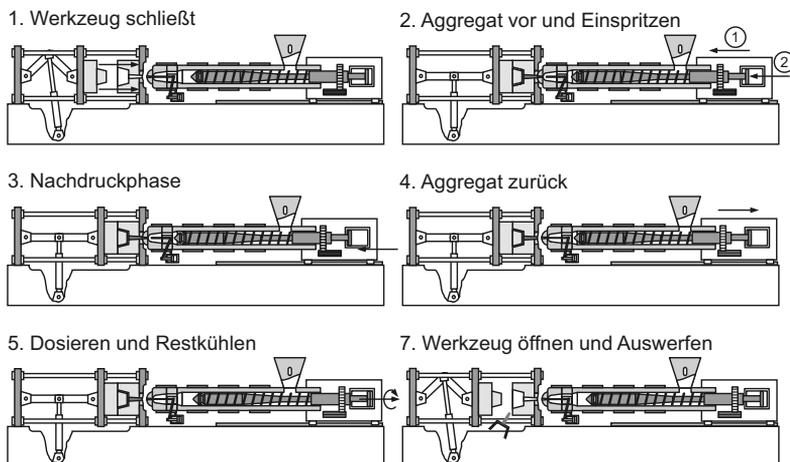


Bild 1.1 Verfahrensablauf beim Spritzgießen

Die Plastifiziereinheit besteht aus einem beheizten Massezylinder und einer innerhalb des Zylinders koaxial verschiebbaren und drehbaren Schnecke. Der in der Regel in Granulatform angelieferte Rohstoff wird in der Plastifiziereinheit durch Rotation der Schnecke aufgeschmolzen. Durch die Verschiebung der Schnecke entgegen der Plastifizierichtung während der Plastifizierphase wird die erzeugte Schmelze vor die Schnecke in den Schneckenorraum gefördert und dort gespeichert. Die Schnecke wird gegen den als Staudruck bekannten Widerstand im Schnecken-zylinder zurückgedrückt.

Zu Beginn des Zyklus wird das Werkzeug durch die Betätigung der Schließeinheit geschlossen. Vor dem Einspritzvorgang wird die Einspritzdüse der Plastifiziereinheit an der Angussbuchse des Werkzeugs positioniert. Der Druck, mit dem die Düse gegen die Angussbuchse anliegt, muss so eingestellt werden, dass beim nachfolgenden Einspritzen der Schmelze die Verbindung dicht bleibt. Anschließend wird die dosierte Schmelze durch die Vorwärtsbewegung der Schnecke aus dem Plastifizieraggregat in die Höhlung des Werkzeugs, die Kavität, gedrückt [1.1].

Für die Füllung der Kavität wird aufgrund der hohen Schmelzeviskosität ein hoher Druck, um einige hundert bis 2 000 bar, benötigt. Dadurch entsteht in der Kavität ein hoher Werkzeuginnendruck. Die Schließeinheit muss entsprechend hohe Zuhaltkräfte aufbringen und das Werkzeug steif ausgeführt werden, um das Entweichen der Schmelze in die Trennebene aus der Kavität zu vermeiden.

Mit dem Eintritt der Kunststoffschmelze beginnt durch den Kontakt mit dem deutlich kälteren Werkzeug die Abkühlung und Erstarrung der Schmelze. Da das Volumen der Schmelze mit der Temperatur abnimmt, erfolgt nach der volumetrischen Füllung der Kavität in der Einspritzphase die Nachdruckphase. Dabei wird bis zur Erstarrung des Angusses weiter Kunststoffschmelze in die Kavität nachgedrückt, um die Schwindung des Kunststoffs auszugleichen. Danach wird die Einspritzdüse geschlossen und die Plastifiziereinheit zurückgefahren. Das Abheben der Düse vom Werkzeug dient der thermischen Trennung zwischen Werkzeug und Plastifiziereinheit, da diese auf sehr unterschiedliche Temperaturen temperiert werden müssen. Da der Plastifiziervorgang eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt, beginnt im Anschluss direkt die Aufdosierung des Werkstoffs für den nächsten Spritzgießzyklus, während das Formteil in der Kavität weiter abkühlt.

Wenn der Spritzling (Formteil) formstabil ist, wird das Werkzeug durch die Schließereinheit geöffnet und der Spritzling durch Auswerfer aus der Kavität geschoben [1.2]. Damit ist der Zyklus beendet und der nächste Zyklus kann unmittelbar erfolgen. Bild 1.1 zeigt wie sich die einzelnen Vorgänge zeitlich einordnen.

■ 1.2 Spritzgießen von Thermoplasten

Thermoplaste erweichen und schmelzen unter Wärmezufuhr, sodass sie nach Überschreiten der materialspezifischen Übergangstemperaturen um- und urgeformt werden können, bevor sie durch das Abkühlen wieder erstarren. Daher werden beim Spritzgießprozess von Thermoplasten die Plastifiziereinheit heiß (im Allgemeinen zwischen 220 °C und 300 °C) und die Werkzeuge kalt (im Allgemeinen 40 °C bis 120 °C) temperiert. In der Regel ist der Temperaturunterschied größer als 100 K. Die für das Spritzgießen entwickelten thermoplastischen Formmassen sind in der Schmelze relativ niedrigviskos, damit neben langen Fließwegen auch kurze Einspritzzeiten realisiert werden können und niedrigere Schließkräfte erforderlich sind. Neben der Aufnahme und Verteilung der Schmelze ist eine weitere wichtige Aufgabe des Spritzgießwerkzeugs die schnelle und gleichmäßige Wärmeabfuhr der eingebrachten Schmelze. Sowohl aus Gründen der Wirtschaftlichkeit als auch aufgrund der Qualität der Formteile ist eine sorgfältig ausgelegte Temperierung von erheblicher Bedeutung, um Fehler, wie z. B. Einfallstellen, Formteilverzug und Glanzunterschiede in der Oberfläche zu vermeiden (Kapitel 10). Die Wärmeverteilung innerhalb des Formteils beeinflusst die Eigenspannungen im Formteil und damit die Verzugsneigung des entformten Spritzlings immens. Das Kühlmittel – meist Wasser, solange die Werkzeugtemperaturen unter 100 °C liegen – umströmt in Temperierkanälen

die Kavität. Durch den Einsatz von Temperiergeräten wird das Kühlmittel im Temperierkreislauf mit einem möglichst geringen Temperaturunterschied im Umlauf gehalten, sodass Formteile reproduzierbar hergestellt werden können [1.3].

Nacharbeitsfreie Formteile können nur entstehen, wenn alle Fugen und die Trennebenen des Werkzeuges so dicht geschlossen bleiben, dass keine Schmelze eindringen und zur Gratbildung führen kann. Hierzu müssen alle Fugen auch unter dem vollen Spritzdruck unter einer gewissen Spaltweite bleiben, bis die Schmelze erstarrt ist. Jedoch ist zu beachten, dass zur vollständigen Füllung der Kavität und der Vermeidung von Brennern am Bauteil durch die Verdichtung der Luft in der Kavität eine gute Entlüftung gewährleistet werden muss. Die maximale Spaltweite variiert je nach verwendetem Kunststoff und beträgt üblicherweise 0,01 mm und 0,2 mm je nach Viskosität der Schmelze und Neigung zur Formbelegbildung.

Somit ergeben sich insbesondere bei größeren Formteilen und großen Spritzgießmaschinen besonders hohe Anforderungen an die Präzision und Steifigkeit der Werkzeuge sowie die maximale Zuhaltkraft der Schließeinheiten. Die Steifigkeit der Aufspannplatten ist maschinenseitig von ganz besonderer Wichtigkeit.

■ 1.3 Spritzgießen vernetzender Formmassen

Elastomere und Duroplaste erhalten erst unter Wärmezufuhr durch Vernetzung ihren endgültigen Aufbau. Da die Vernetzung erst in der Werkzeugkavität einsetzen darf, muss die Prozessführung entsprechend angepasst werden. Aus diesem Grund dürfen die Formmassen in der Plastifiziereinheit nur gerade so warm werden, dass eine zum Füllen der Kavität ausreichend niedrige Viskosität vorliegt. So wird verhindert, dass durch zu frühes Vernetzen der Prozessablauf nicht oder unvollständig bis zur Formteilbildung abläuft. Die Plastifiziereinheit wird daher meist unter 100 °C gehalten und die Erzeugung von Reibungswärme durch den Einsatz kompressionsloser Schnecken auf ein Minimum beschränkt.

Bei Eintritt der Formmasse in die Werkzeugkavität muss die Vernetzung aus wirtschaftlichen Gründen schnell erfolgen, sodass das Werkzeug auf einem hohen Temperaturniveau gehalten wird. Die Werkzeugtemperatur wird nach oben durch die Zersetzungstemperatur der Formmasse begrenzt und liegt zwischen 150 °C und 210 °C. Da die Viskosität der Formmassen mit steigender Temperatur abnimmt, jedoch mit dem Vernetzungsgrad steigt, ergibt sich durch die Überlagerung der genannten Effekte ein charakteristischer Viskositätsverlauf. Aufgrund der unterschiedlichen Material- und Verarbeitungseigenschaften ergeben sich für Elastomere und Duroplaste unterschiedliche Anforderungen an die Werkzeugtechnik [1.4] [1.5] [1.6].

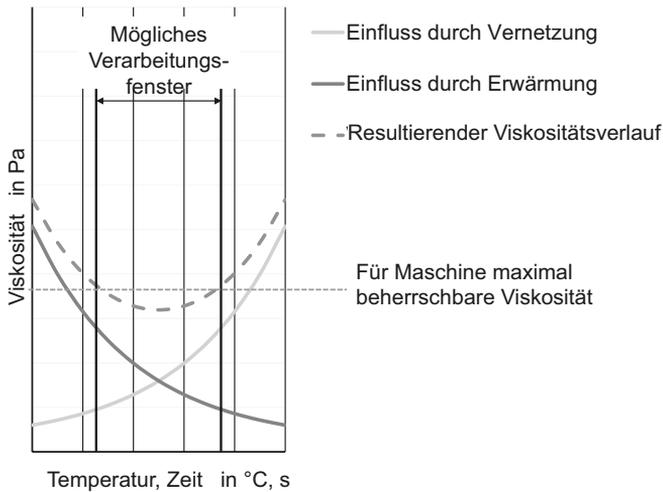


Bild 1.2 Viskositätsverlauf von vernetzenden Formmassen [1.1]

Bild 1.2 zeigt eine schematische Darstellung des Viskositätsverlaufes solcher Formmassen und welchen Bereichen des Zyklus dies zuzuordnen ist.

1.3.1 Spritzgießen von Elastomeren

Elastomerformmassen besitzen bereits im Anlieferungszustand eine makromolekulare Struktur, allerdings wird im Werkzeug unter dem Einfluss von Wärme noch eine weitmaschige Vernetzung der Molekülketten erzeugt. Infolgedessen ist die Volumenänderung, welche mit der Vernetzung einhergeht, gering [1.4].

Um eine Vernetzung vor Eintritt in das Werkzeug zu vermeiden, werden die Plastifiziereinheiten in der Regel $< 100\text{ °C}$ eingestellt.

Durch die Erwärmung der Elastomer Masse auf in der Regel bis zu 210 °C in der Kavität dehnt sich deren Volumen erheblich aus, so dass es zu hohen Werkzeuginnendrücken kommt. Da die Formmassen bei der Berührung mit der heißen Wand des Formnestes vor der Vernetzung niedrigviskoser werden, müssen die Spaltweiten der Trennfugen und Auswerferführungen $< 0,01\text{ mm}$ sein, um Gratbildung zu vermeiden. Diese Forderung ist vor allem bei größeren Werkzeugen nicht immer realisierbar, so dass es häufig nicht möglich ist, Gratbildung und damit Nacharbeit am Formteil zu vermeiden.

1.3.2 Spritzgießen von Duroplasten

Duroplaste werden in einem niedermolekularen Zustand zum Spritzgießen angeliefert. Sie sind meist mit Mineralpulvern, Fasern und Holzmehl oder anderen Stoffen gefüllt, so dass sie bei den niedrigen Temperaturen im Zylinder ($< 190\text{ °C}$) der Plastifiziereinheit eine relativ hohe Viskosität besitzen.

Die Werkzeugtemperaturen betragen im Allgemeinen bis zu 190 °C . Hierdurch entsteht eine engmaschige Vernetzung, die zu einer schnellen Erstarrung führt. Da die chemische Reaktion exotherm abläuft, muss Wärme abgeführt werden. Die duroplastische Matrix wird bei Kontakt mit den heißen Werkzeugwänden besonders dünnflüssig. Zur Vermeidung von Graten am Formteil dürfen daher Spalten an den Trennfugen $< 0,001\text{ mm}$ nicht überschreiten. Aufgrund von Verschleisserscheinungen können jedoch auch bei sorgfältiger Werkzeugwartung minimale Gratbildungen häufig nicht vollständig vermieden werden [1.7].

■ Literatur Kapitel 1

- [1.1] *Hopmann, C.; Michaeli, W.*: Einführung in die Kunststoffverarbeitung. Carl Hanser Verlag, München 7. Auflage 2015.
- [1.2] *Johannaber, F.; Michaeli, W.*: Handbuch Spritzgießen. Carl Hanser Verlag, München 2. Auflage 2004.
- [1.3] *Kazmer, D. O.*: Injection Mold Design Engineering. Carl Hanser Verlag, München 2. Auflage 2016.
- [1.4] *Baur, E. (Hrsg.)*: Saechtling Kunststoff-Taschenbuch. Carl Hanser Verlag, München 31. Auflage 2013.
- [1.5] *Röthemeyer, F.; Sommer, F.*: Kautschuktechnologie. Carl Hanser Verlag, München 3. Auflage 2013.
- [1.6] *Buchschausen, F.*: Automatisierung beim Spritzgießen von Duroplasten und Elastomeren, Dissertation an der RWTH Aachen 1982.
- [1.7] *Wahl, S.*: Spritzgussverarbeitung von Duroplasten – Grundlagen und Anwendungsfelder einer Werkstoffgruppe. Vortrag zur Fachtagung Duroplast-spritzgießen am IKV Aachen, 2015.

Stichwortverzeichnis

Symbole

2D-CAD-Systems 556
2D-Konstruktion 556
2-Komponenten-Spritzgießen 621
2K-Spritzgussteile 603
2K-WIT 636
3D-Formteile 681
3D-Metal-Printing 894
3D-Printing 894, 912

A

Abdichten 340
Abformung 837
Abformwerkzeuge 837
Abgießen von Modellen 830
Abkühlbedingungen 77, 677
Abkühlwirkungen 20
Abkühlfehler 289, 302
Abkühlgeschwindigkeit 289
Abkühlgrad 268, 269, 272
Abkühlkurven 283
Abkühlprozess 38
Abkühlung 32
Abkühlvorgänge 272
Abkühlzeit 270
Ablagerungen 295, 756, 757, 788, 793
Abmusterung 403, 724
Abmusterungsphase 745
Abplatzungen 788, 798
Abrasion 248, 801
Abreißguss 227
Abreiß-Punktanguss 112, 197
Abreißwerkzeug 96
Abriss 224
Abschiebebewegung 477
Abschiebekraft 499
Abschieben 470, 519
Abschiebevorrichtung 500
Abschmelzenergie 801
Abschraubeinheiten 531
Abschraubvorgang 525
Abschraubwerkzeuge 96, 531
– mit separatem Antriebsaggregat 531
– mit Steilgewindespindeln 528
– mit Zahnstangen 526
Abschrecken 840
Abschreckgeschwindigkeit 839
Absorption 749
Absperrschieber 617, 625
Abspindel-Werkzeug 527
Abstand: Werkzeugwand-Temperierkanal
301, 308
Abstreifer 704
Abstreiferwerkzeuge 522
Abstreifplatten 507
Abstützungen 387
Abtragende Fertigungsverfahren 868,
905
Abzuführende Wärmemenge 265
Adaptive Spannsysteme 453
Adaptive Wechselsysteme 446
Additionsverfahren 613, 619

- Additionsvernetzung 699
- Additive Fertigung 884
- Additive Fertigungsverfahren 890
- Additive Verfahren 885, 886
- AddMix-Verfahren 622
- Ähnlichkeitskalkulation 123
- Aktive Entformungsvorrichtung 703
- Aktive Entlüftung 258
- Aktives Prägen 676
- Aktivierungsenergie 284
- Aktivierungswärme 93
- Algen 346
- Algenbildung 749
- Alkalische Reinigungsmittel 792
- Al-Legierungen 923
- Allgemeine Gaskonstante 284
- Alter des Werkzeugs 784
- Alternierend öffnende Etagenwerkzeuge 599
- Aluminium 231, 662, 832, 843, 922
- Aluminiumbronze 535
- Aluminiumgefülltes Epoxid 917
- Aluminiumlegierungen 832
- Aluminiumoxid 880
- Aluminium-Zink-Magnesium-Kupfer-Legierungen 832
- Amorphe Materialien 74
- Amorphe Thermoplaste 108
- Amperemeter 795
- Anbindung 51, 133, 187, 250
- Änderungen 796
 - durch Materialauftrag 800
- Anfahrvorgang 349
- Angebotserstellung 116, 811
- Anguss 51, 133, 173, 187, 224, 701, 765
- Angussabfallvermeidung 702
- Angussarten 137, 657
- Angussausdrückstifte 141
- Angussbuchse 2, 139, 200, 203, 217, 233, 655
- Angusshaltekanäle 141
- Angusskanal 133, 654, 655
- Angusskanalsystem 193
- Angusskegel 109, 133, 139, 203
- Angussloses Anspritzen 204
- Angussloses Spritzprägen 241
- Angussmarkierung 201, 204
- Angussort 624
- Angussposition 53, 614
- Angusspositionierung 53
- Angussrohr 585
- Angussspinne 133, 199
- Angussstange 133
- Angusssteg 133, 145
- Angussystem 51, 93, 121, 133, 195, 250, 654, 797, 798, 810
- Angusstrennung 195
- Angussverschluss 677
- Angussverteiler 133, 173, 701
- Angussvolumen 258
- Angusszapfen 154
- Anionen 874
- Anisotropes Schwindungsverhalten 75
- Anisotropie 73, 677
- Anlagennutzung 782
- Anlassen 839, 840
- Anliegende Düse 200
- Anodische Auflösung 873
- Anordnung der Formnester 109
- Anpassen der Werkzeugtemperierung 748
- Anschlagbolzen 503
- Anschnitt 145, 193, 195, 207
- Anschnittarten 407, 656, 657
- Anschnittbereich 205
- Anschnittdimensionierung 227
- Anschnittdurchmesser 227
- Anschnittdüsen 222
- Anschnittgestaltung 66
- Anschnittkühlkreislauf 231
- Anschnittlage 150, 407
- Anschnittmarkierung 189
- Anschnittposition 34

- Anschnittquerschnitte 701
Anschnittsysteme 765
Anspritzdüsen 222
Anspritzpunkte 654
Antireflexionsspray 753
Anti-Tropf-Düse 585
Antriebsdrehmoment 525
Anvernetzung 176
Anzahl der Angusspunkte 53
Arbeitsablauf 116
Arbeitsplandaten 116
Arbeitsvorbereitung 785, 796
Arc-Ion-Plating (Arc-PVD-Verfahren) 847
Arrhenius-Ansatz 284
Artikelnummer 785
Aspektverhältnis 694
– bei FIT-Formteilen 639
Asymmetrische Abkühlung 271
Atmen 625
„Atmende“ Werkzeuge 654, 662, 668
Atmungsgeschwindigkeit 664
Atmungshub 663, 664
Atmungsverzögerung 664
Ätzbild 875
Ätzen 704, 871
Ätzmedium 875, 876
Ätztiefe 875
Aufbauelektrolyten (Nickel oder Kupfer) 804
Aufbereitetes Wasser 794
Aufblasverfahren 628, 643, 644
Aufbohren 793, 799
Aufheizformel 344
Aufheizgeschwindigkeit 285
Aufheizung 283
Aufheizverhalten 753
Aufheizzeit 344, 355
Aufkohlen 839
Aufkohlungsdauer 839
Aufkohlungstemperatur 839
Auflagekonsolen 456
Aufschaukeleffekt 408, 411
Aufschäumen 260, 651, 661, 663, 667
Aufschäumgrade 658, 663
Aufschäumvorgang 658, 660
Aufschmelzen 895
Aufschmelzenergie 801
Aufschweißen 788
Aufschwinden 470
Aufspannfläche 104, 106
Aufspannplatten 4
Aufstauchen 799
Auftragschweißen 799, 801, 899
Auftragschweißgeräte 803
Auftragschweißprozess 895
Auftragsschweißung 535
Auftragung 838
Auftretenden Fehler 766
Auftriebskräfte 106, 110, 210, 238
Aufweitung 377, 393
Ausbalancierung 234
Ausbesserungsarbeiten 799
Ausblasverfahren 628, 645
Ausbrennen des Binders 894
Ausbrennvorgänge 895
Ausdrückbuchse 499
Ausfallzeiten 783
Ausfräsen 799
Ausfüllen von Mulden 803
Aushärten 283
Auskernungen 60
Auslegung des Angussystems 584
Ausrundungsradius 30
Ausschmelzbare Kerne 835, 923
Ausschraubeinheiten 531
Ausschrauben 522
Ausschubkräfte 470
Ausschuss 231
Ausschusseparierung 745
Ausschussweichen 742, 743
Außenbeheiztes System 215
Außengewinde 63, 64, 522, 533

- Außenringanguss 194
 Außen- und innenbeheizte Systeme 214
 Äußere Hinterschneidungen 534
 Ausstoßbolzen 503
 Austauschbarkeit 812
 Austausch von Teilen 797
 Austenitisieren 840
 Austenitisierungstemperatur 840
 Auswerfer 3
 Auswerferangriff 498
 Auswerferangriffspunkt 499
 Auswerferarten 494
 Auswerferbetätigung 469
 Auswerferbewegung 196
 Auswerferbohrungen 254
 Auswerferbolzen 506
 Auswerferbruch 798
 Auswerferelemente 470
 Auswerfergeschwindigkeit 506
 Auswerfergrundplatte 503
 Auswerferhalteplatte 503
 Auswerferhülse 495, 496
 Auswerferkraft 498, 506
 Auswerferkupplungen 447
 Auswerferkupplungssysteme 463
 Auswerferleiste 514
 Auswerferpaket 503
 Auswerferplatte 500, 503
 Auswerferring 499
 Auswerferrückzug 516
 Auswerferschaden 785
 Auswerferstifte 247, 365, 487, 494
 Auswerfersystem 121, 122, 469, 499,
 504, 766, 797, 798
 Auswerfertraverse 529
 Auswerferübersetzer 509
 Auswerferkräfte 365
 Automatisierung 234
 Automatisierungsmöglichkeiten 677
 Automobil - Innenverkleidungsteile 678
 Axialinjektoren 636
- B**
 Backen 488, 518, 522, 533, 535, 543,
 795, 810
 Backenwerkzeug 96, 119, 380, 393,
 505, 534, 543, 701
 Badflüssigkeit 792
 Badnitrieren 841
 Bagley-Korrektur 168
 Bajonettverschluss 448
 Balancierung 147, 210, 220, 606
 Balancierung des Angussystems 584,
 654
 Ballistic-Particle-Manufacturing 906
 Bananenanguss 196
 Bandanguss 52, 189
 Bandanschnitt 146, 153
 Bauelemente 812
 Baugruppen 798
 Bauteildimension 43
 Bauteileigenschaften geschäumter
 Thermoplaste 647
 Beanspruchungsdauer 55
 Beanspruchungsspitzen 492
 Bearbeitungszeitbedarf 119
 BeCu 331
 Bedrucken 679
 Beheizter Transfertopf 606
 Beheizung 214, 224, 228, 229, 344
 Behinderte Schwindung 476
 Belagbildung 157
 Belastungsanalyse 364
 Belastungsarten 374
 Belastungsfälle 373
 Belüften 501
 Belüftung 697
 Berandungstemperatur 265
 Berylliumkupfer 391
 Beschichten 679
 - bei niedrigen Drücken 844
 - mittels Laserstrahlung 899
 Beschichtende Verfahren 918

- Beschichtetes Hartmetall 864
Beschichtungen 661
– im Werkzeug 669, 670
Beschichtungsverfahren 919
Beschleunigungskräfte 493
Beschnitt 684
Bestimmung des Schwerpunktes 111
Betriebsstörungen 217
Betriebszeiten 746
Betriebszustand 726, 747
Bewegliche Kerne 674
Bewegungsreibung 538
Bewegungsübertragung 93
Biegebelastungen 535
Biege-Eigenschaften 649
Biegespannung 23
Biegeverformung 363
Biegung 364, 371, 391, 640
Bi-Injektionsverfahren 614
Bindenaht 33, 51, 52, 151, 154, 156,
157, 191, 197, 210, 212, 247, 573,
653, 677, 874
– hinter Fließhindernissen 653
Bindenahtfestigkeit 30, 654
Bindenahtlage 614
Binder 894
Binderflüssigkeit 911
Biologische Wachstumsvorgänge 794
Biot-Zahl (Bi) 289
Blasen 156
Blasenbildung 662
Blasendurchmesser 666
Blasformverfahren 679
Blasformwerkzeuge 835
Bogentunnelanguss 688
Bohne 148
Bohrbearbeitung 861
Borieren 839, 842
Bornitrid (CBN, Cubisches Bornitrid) 861
Brabender-Plastograph 182
Brandschutzausrüstung 788
Brandstellen 248, 796
Brenner 156
Brillengläser 678
Brinellhärte 924
Bronze 432, 504, 535, 894
Bürsten 703, 788, 789
Bürstenwerkzeuge 789
- C**
CAD-Daten 887
CAD-Datenbasis 800
CAD-Geometrie 54
CADMOULD 153, 190, 228, 381, 393,
405, 408, 414
CADMOULD-3D 643
CAD-Normaliensoftware 811
CalcMaster® (Schouenberg & Partners)
129
CAM-Systeme 863
Carreauansatz 166, 176
Carreau-Modell 166
CBN (Cubisches Bornitrid) 863
CD-Fertigung 608
C-FLOW 643
Chargenschwankungen 240
Chassis 450
Chemische Gasphasenabscheidung,
CVD-Verfahren 844, 845
Chemisches Vernickeln
(Kanigen-Verfahren) 843
Chromoxid 880
CHRYSLER 920
Coinjektion 621
Coinjektionstechnik 621
Cold-Box-Verfahren 908
Common-Pocket-Verfahren 241
Compact Discs 694
Conformal-Cooling 898
Continuous venting 251
Controlled-Metal-Build-Up (CMB) 901
– Verfahren 802

- Core-Back-Technik 614, 617
- CO₂-Kühlung 330
- CO₂-Laser 850
- CO₂-Temperierung 330
- Cu-Be-Zylinder 334
- CVD-Verfahren
(Chemical-Vapour-Deposition) 844

- D**
- Dampfstrahler 790
- Dauermodelle 904, 907
- Deckmetall 804
- Deformation 366, 387
- Deformationsverhalten 391
- Deformationsvermögen 488
- Dehnung 520
- Dehnviskosität 172
- Dekompression 218
- Dekomprimieren 217
- Dekorationsverfahren 679
- Dekorative Zwecke 842
- Dekoraufnahme 689
- Dekorfolien 590, 679, 681, 683
- Dekorhalbzeuge 679
- Dekorierprozesse 679
- Dekormaterial 679, 687, 691
- Dellen 669
- Dellenbildung 667
- Demontagezeiten 746
- Design 613
- Design-of-Experiments 747
- Designrichtlinien 638
- Dichte 267, 677, 832
- Dichteverteilung 658
- Dichtflächen 249
- Dichtheit eines Injektors 637
- Dichtkraft 399
- Dichtstopfen 227
- Dichtungsfunktion 613
- Dichtungssystem 606
- Dickenschwindung 72, 379

- Dickschichtheizelemente 213
- Dielektrika 868
- Dielektrische Flüssigkeit 868
- Dieseleffekt 250, 255, 661, 696, 765
- Differential-Scanning-Calorimeter (DSC)
277, 284
- Differenzenverfahren 314
- Diffusion 838
- Diffusionssättigung 841
- DIN 405 523
- DIN 1530 494
- DIN 16742 742
- DIN 31051 781
- DIN EN ISO 9000 742
- Direct-Metal 893
- Direct-Metal 20 894
- Direct-Metal-Deposition (DMD) 900
- Direct-Metal-Laser-Sintering (DMLS) 893
- Direct-Shell-Production-Casting (DSPC)
912
- Direct-Steel 893
- Direct-Steel H20 894
- Direkte additive Fertigung 887
- Direkthärten 840
- Direkthärtung 840
- Direkt messende
Werkzeuginnendrucksensoren 726
- Distanzstücke 220, 227
- DLC-Beschichtung
(Diamond-Like-Carbon) 846
- DMD-Prozess 900
- DMLS-Einsätze 898
- DoE, Design-of-Experiment 745
- Dokumentation 724
- Dome 651
- Doppeletagenauswurf 510, 511, 512
- Doppelhärten 840
- Doppelhärtung 840
- Doppelheizkanal 601
- Doppelter Schirmanschnitt 600
- Doppelwürfel - Werkzeug 591

- Dosier volumen 653
Dosierzeit 179
Drahtelektroden 866, 872
Drehbearbeitung 860
Drehen 860
Drehende Werkzeugsysteme 615
Drehkreuz 615
Drehmechanik 615
Drehtechnik 615
Drehteller 603, 615
Drehtellerwerkzeug 509
Drehwerkzeuge 617
Dreiplattenwerkzeug 112, 119, 197,
210, 513, 680, 689
Dreischichtige Spritzgussteile 621
Driftverhalten 726
Druck 225, 391, 660
Druckabfall 655
Druckbedarf 248, 303
Druckfließklappen 867
Druckgießen 914, 915
Druckguss 835
Druckminderer 794
Drucksensoren 723, 795
Druckspannung 24
Druckstellen 788
Druckübertragung 80
Druckverhältnisse 355
Druckverlustberechnung 173
Druckverluste 143, 155, 177, 210,
218, 238, 288, 290, 303
Druckverteilung 403
DSC-Analyse 284, 285
DSC-Daten 285
Dünnwandigkeit D 125
Dünnwandteile 678
Durchbrüche 60, 404, 519, 534, 653
Durchflussmessungen 757, 794
Durchfluss-Temperiergeräte 346
Durchflusstemperierung 346
Durchflussverfahren 629
Durchflussverhältnisse 355
Durchgangslöcher 60
Durchmesseränderung 478
Durchmesserverkleinerung 478
Durchspülen 793
Duroplaste 6, 93, 156, 157, 181, 240,
258, 277, 283, 285, 309, 313, 365,
431, 617, 676
Duroplastische Formmassen 277, 494,
499
Duroplastverarbeitung 459, 678
Duroplastwerkzeuge 344
Düsen 228, 234, 797
Düsenachse 429
Düsenanlagefläche 795
Düsenanlagekraft 217
Düsenauslegung 227
Düsenseite 469
Düsentrimmung 703
DVD 678
Dynamant 846
Dynamischer Werkzeugtemperierung 350
Dynamische Scherviskosität 162
- ## E
- Ebene Flächen 38
Eckenbereich 343
Eckengeometrie 342, 343
Eckenkühlung 316
Eckenverzug 78, 343
Eckige Formteile 336
Eckstücke 227
ECM-Prozess 873
EDM-Bearbeitung 901
EDM-Technologie 871
EDV-System 464
Effektive Temperaturleitfähigkeit 276
Eigenspannungen 20, 23, 38, 55, 72,
76, 315, 350, 669
Eindockzylinder 461
Einfachhärten 840

- Einfachkavität 640
 Einfachwerkzeuge 197
 Einfahren 747, 749, 752
 Einfallstellen 21, 33, 53, 316, 343, 628, 641, 643, 648, 796
 Einfetten 796
 Einflussgrößen 767
 Einfriertemperatur 206
 Eingebettete Diagnosesysteme 745
 Eingebachte Wärmemenge 265
 Eingefrorene Eigenspannungen 342
 Eingegossene Temperierrohre 922
 Einkavitätenwerkzeugen 654
 Einkerbung 30
 Einkomponenten-Familienwerkzeuge 584
 Einkomponenten-Kaltkanalwerkzeuge 584
 Einkomponenten-Spritzgießen 621
 Einlagerung 796
 Einlegekern 419
 Einlegeteile 55, 238, 407, 419, 590, 591
 Einlippenbohren 861
 Einlöten 800
 – von Stiften oder Kernen 799
 Einnestformen 219
 Einrichten 429, 785
 Einrichtepersonal 747
 Einrichteprogramm 747
 Einrichtevorgang 748
 Einsatz-Drehmechanik 615
 Einsatzhärten 839, 840
 Einsatzhärtungstiefe 839
 Einschraubdome 652
 Einschraubungen 28
 Einsenken 923
 Einsenktiefe 924
 Einsenkungsvorgang 924
 Einspannbedingungen 391
 Einspannungsbedingter Kernversatz 407
 Einspritzdruck 104, 212, 248, 365
 Einspritzdüse 133, 795
 Einspritzgeschwindigkeit 177, 606, 614, 649, 703, 744, 766
 Einspritzprofil 584
 Einspritzvorgang 251, 657
 Einspritzzeit 176, 257, 258
 Einstelldatensatzverwaltung 748
 Einstellparameter 766
 Einstufige Dekorationsverfahren 680
 Einstufige Folien-Hinterspritzverfahren 682
 Einstufiges, post-tailored Folien-Hinterspritzverfahren 683
 Einstufige Verfahrensvarianten 682
 Einviskosität 165
 Einzeldruckverlust 294
 Einzelverformungen 371
 Eisenmetallische Werkstoffe 922
 Eisenoxid 880
 Ejectorbohren 861
 Elastische Aufweitung 375
 Elastizität 488
 Elastizitätsgrenze 520
 Elastizitätsmodul 375
 Elastizitätstheoretische Berechnungsformel 373
 Elastizitätstheorie 374
 Elastomere 5, 93, 156, 157, 176, 234, 283, 285, 286, 309, 313, 365, 430, 488, 604, 617, 676, 700, 788, 791
 Elastomerformteile 488
 Elastomerteile 675
 Elastomerverarbeitung 258, 459, 678
 Electro-Discharge-Machining (EDM) 868, 901
 Electron-Beam-Melting 898
 Elektrochemische Auflösung (ECM, Electric-Chemical-Machining) 873
 Elektrisch beheizte Werkzeuge 794
 Elektrische Abschraubeinheit 532
 Elektrische Beheizung 350
 Elektrische Schweißverfahren 803

- Elektrochemische Behandlungsverfahren 842
- Elektrochemisches Ätzen 874, 875
- Elektrochemisches Beschichten (Tampon-Galvanisieren) 804
- Elektrochemisches Polieren 873
- Elektroden 868
- Elektrodenwerkstoffe 870
- Elektrolytisches „Glänzen“ 874
- Elektronenstrahlquelle 898
- Elektropermanente Langpole 458
- Elektropermanente Quadratpole 458
- Elektropolieren 873
- Elektrostatistische Aufladung 680, 689
- Emission 749
 - von Strahlung 736
- Emissionsgrad 749, 752
- Emissionskoeffizient 280, 736, 737
- Emissionsvermögen 749
- E-Modul 374, 391, 832
- Empirische Modelle 744
- Emulsionen 789
- Endpolitur 881
- Energie 159
- Energiebedarf 248
- Energieeinsparung 231
- Energieelastische Kräfte 476
- Energieelastische Verformung 478
- Energiekosten 282
- Energietransport 447
- Energieversorgungsleitungen 445
- Entformbarkeit 637
- Entformen
 - auf der Düsenseite 516
 - von Gewinden 522
- Entformung 93, 210, 469, 703
- Entformungsarten 469
- Entformungsdruck 512
- Entformungseinrichtungen 469
- Entformungselemente 498
- Entformungshub 505
- Entformungskinematik 489
- Entformungskraft 470, 474, 476, 484, 766
- Entformungskraftbedarf 477
- Entformungsprinzip 96
- Entformungsprobleme 363
- Entformungsprozess 474
- Entformungsrichtung 40
- Entformungsschräge 34, 40, 63, 154
- Entformungsschwierigkeiten 33, 403
- Entformungsschwindigkeit 71
- Entformungssimulation 489
- Entformungssystem 93, 94, 470
- Entformungstemperatur 43, 265, 270, 289
- Entformungswiderstand 536
- Entformungszeitpunkt 278, 476
- Entgraten 790
- Enthalpie 278, 304
- Enthalpiedifferenz 278
- Entladungskrater 868
- Entlastungsbohrungen 61
- Entlüften 247, 501
- Entlüftung 486, 652, 661, 677, 765
 - beim Schaumspritzgießen 661
- Entlüftungsbolzen 502
- Entlüftungskanäle 248, 255
- Entlüftungsöffnungen 661
- Entlüftungsschliffe 703
- Entlüftungsspaltbreite 258
- Entlüftungsspalte 251, 257, 258
- Entlüftungsstift 255, 262
- Entmischungen 154
- Entzundern 790
- Erhaltungssätze 159
- Erodierarbeiten 119
- Erodieren 249, 704
- Erodiermaschinen 871
- Erodierte Formeinsätze 474
- Erstarrungsmodell 73
- Erstarrungsschrumpfung 909

- Erstarrungsstruktur 922
 Erstarrungszeit 187
 Erweichungstemperatur 167
 Etagenbauweise 585
 Etagentechnik 585
 Etagenwendetechnik 590, 594
 Etagenwerkzeug 96, 212, 585
 Etikettenfolien 680
 Euromap-Norm 448, 460, 461
 Euterdüse 224
 Evakuierung 258, 703
 Evakuierungskanäle 334
 Exotherme Reaktionswärme 277
 Expandable-Pattern-Casting (EPC) 913
 Extrusionswerkzeuge 867
 Exzenterbolzen 447
 Exzentrizität 416
- F**
- Fachzahl 477
 Fadenziehen 202, 222
 Faltenbälge 488
 Faltenbildung 24
 Familienformen 212
 Familienwerkzeuge 573, 583
 Farbtrennung 621
 Farbwechsel 205, 217, 228
 Fasergefüllte Formmassen 76
 Fasergekoppelter Nd
 – YAG-Laser 901
 Fasern 6, 76
 Faserorientierung 34, 38, 76
 Faserorientierungsrichtung 81
 FE-Berechnung 405
 Federbetätigte Injektoren 632
 Federelemente 488
 Federersatzbild 381
 Federersatzsystem 387
 Federkonstante 366, 367
 Federn 364, 463, 516, 518, 543
 Federpaket 364
 Federsteifigkeit 365, 368
 Federverformungen 364
 Federweg 372
 Fehler im Erscheinungsbild eines
 Formteils 766
 Feingießen 906, 911, 912
 Feingießverfahren 911
 Feingießwachs 906
 Feingusswachs 906
 Feinkonturige Werkstücke 911
 Feinstrahlgeräte 790
 Feinzink-Gusslegierungen 831, 923
 Feinzinklegierungen 923
 FEM 364
 – Analyseprogramm 422
 – Modelle 405
 – Netz 420
 – Programme 309, 314
 – Rechnung 364
 – Simulation 83
 Fertigbearbeitete Werkzeugplatten 813
 Fertigspritzling 618
 Fertigungsfehler 800
 Fertigungskosten 20, 233, 809
 Fertigungsmanagementsysteme 744
 Fertigungstoleranzen 425
 Fertigungsverfahren 857
 Fertigungszeit 811, 858
 Festigkeit 826, 837
 Festigkeitseigenschaften 149
 Festigkeitswerte 677
 Festschmierstoffdepots 432, 504
 Feststofflaser 801
 Feuchtigkeit 743
 Feuchtigkeitenaufnahme 72
 Feuchtpolyesterharz-Formmassen 240
 Feuerwehrstrategie 782
 Filmanguss 52, 189, 419, 656
 Filmanschnitte 701
 Filmförmiger Anschnitt 146
 Filmscharniere 49

- Fingereffekt 623
- Finite-Elemente-Methode (FEM) 488
- Fischschwanz 190
- FIT-gerechte Konstruktion 638
- FIT-Injektor 630
- Fixiersystem 689
- Flachauswerfer 496
- Flächendichtungsmassen 340
- Flächenheizkörper 233
- Flächenpressung 474, 475, 478, 480, 487
- Flächenträgheitsmoment 649
- Flächenversteifung 38
- Flachheizungen 794
- Flächige Formteile 336
 - mit Rippen 641
- Flachschleifen 866
- Flachzentriereinheiten 441
- Flammspritzen 918
- Flankenpressung 528
- Flashless-Elastomer-Produktion 607
- Flashless-Verfahren 607
- Flexibilität 809
- Fließbarrieren 614
- Fließbehinderungen 81
- Fließbremsen 66
- Fließexponent 164
- Fließhindernisse 152, 653
- Fließkurve 163
- Fließmarkierungen 874
- Fließquerschnitt 655
- Fließrichtung 652
- Fließsperrn 625
- Fließweg 150, 210, 606, 653, 658
- Fließwegende 252
- Fließweglänge 10, 11
- Fließweg-Wanddickenverhältnis 21, 81, 107, 197, 350, 584, 650, 678, 689, 703
- Fließwiderstand 53, 74, 154
- Fließwiderstands-Zeitkurven 182
- „Flow-Control-Kaltkanal“ 703
- Fluidblasenausbreitung 645
- Fluidblasenquerschnitt 638
- Fluiddruck 628
- Fluideinleitungspunkte 638, 643
- Fluidinjektion 628
- Fluidinjektionstechnik (FIT) 620, 625, 626, 627, 638, 641
- Fluidität 164
- Fluidrückführung 628
- Fluidvolumenstrom 630
- Flüssiger Binder 894
- Flüssige Seele 75
- Flüssigheizung 344
- Flüssigsilikonkautschuke 618, 699
- Flüssigsilikonverarbeitung 699
- Folienbeschnitt 683
- Folienhinterspritztechnik (FHST) 681, 682
- Folienvorschubgerät 681
- Formänderung 316
- Formauftriebskräfte 369
- Formbelag 248, 253
- Formeinsätze 904
- Formfaktor 409
- Formgebungsverfahren 904
- Formhälften 904
- Formhöhlung 60
- Forminnendruck 364, 366
- Formmasse 133
- Formnest 109, 119
- Formnest (Entlüftung) 93
- Formnestträgerplatte 505
- Formnestzahl 104
- Formöffnungskräfte 365
- Formplatten 810
- Formsande 908
- Formschluss 75
- Formteil 71
 - -abkühlung 265
 - -bildung 4
 - -druckfestigkeit 498

- -ecken 315, 342
 - -eigenschaften 737
 - -fehler 752
 - -füllung 248
 - -geometrie 22
 - -gestaltung 638
 - für das Schaumspritzgießen 648
 - -konstruktion 765
 - mit dickwandigen Bereichen 643
 - -oberfläche 248
 - -oberflächentemperatur 751
 - -qualität 363, 573, 606, 646, 766
 - -randschichten 669
 - -verzug 316
 - -volumen 646
 - -wanddicke 19
 - Fototechnische Verfahren 876
 - Fouriersche Differentialgleichung 266, 317
 - Fourierzahl Fo 272
 - Fräsen 861
 - Freie Formgebung 46
 - Freie Konvektion 312
 - Freiformflächen 878
 - Freistrahlbildung 156, 650
 - Fremdbetätigte WIT-Injektoren 632, 634, 637
 - Fremdkosten 785
 - Fresnellinsen 678
 - Fressen 798
 - Fügewinkel 520
 - Fühler 233
 - Führung 429, 810
 - und Zentrierung 93
 - Führungsbuchse 206, 431, 504
 - Führungseinheit 431
 - Führungselemente 432
 - Führungseisen 453
 - Führungssäulen 431, 536
 - Führungssystem 795, 797
 - Füllbildermittlung 413
 - Füllbildmethode 253
 - Füllgrad 154
 - Full-Shot-Verfahren 628
 - Füllsimulation 405, 658
 - Füllstoffbeladungen 155
 - Füllstoffe 77
 - Füllstoffgehalt 277
 - Füllstofforientierung 677
 - Füllstudien 667
 - Füllung 724
 - Füllvorgang 176
 - Fünfbearbeitung 865
 - Fünfbearbeitungsmaschinen 865
 - Fünfzähliges Lüfterrad 484
 - Funkenerosion 860, 865, 871
 - Funkenerosives Abtragen (EDM, Electric-Discharge-Machining) 860, 868
 - Funkenerosives Schneiden 866, 872
 - Funkenerosives Senken 868
 - Funktioneller Spalt 380
 - Funktionselemente 49, 58
 - Funktionsintegration 49
 - Funktionskomplexe 95, 811
 - Funktionssicherheit 363
 - des Werkzeuges 363
 - Funktionsteile 797
 - Fused-Deposition-Modeling 906
 - Futter 543
- G**
- Gabelstapler 465
 - Gallkette 516
 - Galvanisch abgeschiedene Schutzschichten 842
 - Galvanisch abgeschiedene Werkstoffe 836
 - Galvanisches Vernickeln (Kanigen-Verfahren) 843
 - Galvanisierbad 919
 - Galvanoabdeckband 804
 - Galvanoformen 919

- Galvanoformung 836, 837, 858
- Galvanoplastik 835, 836
- Galvanoschalen 919
- Galvanostegie 836, 842
- Gasauflöser 840
- Gasblasen 669
- Gasdosierstation 666
- Gasführungskanäle 626
- Gasgegenpressspritzgießen 260
- Gasgegenpressverfahren 662, 665
- Gasinjektionstechnik (GIT) 620, 626
- Gaskanäle 642, 643
- Gaskanalgeometrie 642
- Gaskanalquerschnitt 642
- Gasnadeln 630
- Gasnitrieren 841
- Gasversorgungskanal 666
- Gaszuführung 666
- Gebogener Stangenanguss 188
- Gefederte Kugelleisten 460
- Gefügespannungen 840
- Gefügeveränderungen 839
- Gefüllte Formmassen 276
- Gegendruck 629
- Gegenkonus 543
- Gegenstifte 517
- Gekühlter Transfertopf 606
- Gelcoat 917
- Gele 789
- Gelenke 369, 507
- Gelenkhebel 588
- Gelenkhebelsteuerung 588
- Gelenkzapfen 369, 543
- Gemaserte und texturierte Oberflächen 922
- Gemeinsamer Düsenkopf 621
- Gemischte Entformung 509, 513
- Gemischtes Auswerfen 512
- Genauguss 911
- Genormte Schnellspannsysteme 812
- Geometrische Grundelemente 272
- Geradlinige Temperierkanäle 337
- Geregelte Maschine 177
- Gesamtarbeitszyklus 429
- Gesamtschließkraft 400
- Gesamtschwindung 72, 77
- Gesamtwärmemenge 278
- Gesamtzykluszeit 20
- Geschäumte Bauteile mit glatter Oberfläche 663
- Geschliffene Formeinsätze 474
- Geschlitzte Federringhülse 523
- Geschlitzte Metallstopfen 253
- Geschwindigkeitskonstante 285
- Geschwindigkeitskonstanten 284
- Gesetz nach Blasius 295
- Gestalten von Bauteilen 17
- Gestaltung 46
 - der Verbindung 59
 - des Fluidkanalauslaufs 645
- Gestaltungsregeln 18
- Gestaltungsrichtlinien für stabförmige Bauteile 639
- Gestaltungsvarianten 46
- Gestaltung von Nebenkavitäten 645
- Gesteuerte Maschine 177
- Gestrecktheit G 125
- Gestufte Entformung 509
- Geteilte Kernstifte 41
- Geteilter Rückdrückstift 517
- Gewährleistungsfall 747
- Gewichtersparnis 626, 832
- Gewichtsreduktion 660, 662
- Gewichts- und Materialeinsparungen 649
- Gewinde 62, 519, 534
- Gewindeart 522
- Gewindeauslauf 63
- Gewindeeinsätze 54
- Gewölbte Flächen 38
- Gießen 905
 - in verlorenen Formen

- mit Dauermodellen 907
 - mit verlorenen Modellen 911
 - Gießverfahren 904, 906, 922
 - in Dauerform 914
 - Gießwerkstoff 922
 - GIT-Injektoren 630
 - GIT-Werkzeuginjektoren 630
 - Glanzgradunterschiede 628
 - Glanzunterschiede 302, 622
 - Glasfasergefüllte Materialien 81
 - Glaskugeln 77
 - Glasperlen 867
 - Glätten 790
 - Glättungsvorgang 879
 - Gleitelemente mit
 - Feststoffschmierdepots 440
 - Gleitleisten 453
 - Gleitreibungskoeffizient 491
 - Glühen 839
 - Glühfestigkeit 924
 - Glühhärte 924
 - Granulatform 2
 - Graphit 864
 - Graphitanode 804
 - Graphitelektroden 870
 - Grat 156, 256, 365, 368, 380
 - Gratbildung 5, 247, 368, 499, 543, 700, 701, 724, 738
 - Grenzdehnungen 23
 - Griffbauteile 626
 - Grobkristall- und Seigerungsbildung 922
 - Grübchen 799
 - Grundaufbau 119
 - Grundelemente 809
 - Grundfunktionseinheiten 119, 121
 - Grundlastfälle 374
 - Grünling 894
 - Gruppenkalkulation 118
 - Gummiformartikel 606
 - Gummiformteile 488
 - Gummi-Kunststoff-Formteile 419
 - Gummi-Metall-Bauteile 238
 - Gusseisenwerkstoffe 922
 - Gusswerkstoffe 832, 850
 - Güteklassen 120
- ## H
- Haftgrundvorbereitung 790
 - Haftkräfte 469
 - Haftreibung 477
 - Haftreibungskoeffizient 474
 - Haftung 474
 - Hagen-Poisseuillesches Gesetz 65, 170
 - Halbempirische Modelle 744
 - Halogenstrahler 352
 - Haltewinkel 520
 - Haltezeit 665
 - Handbetätigung 447
 - Handformverfahren 905
 - Handhabungsgerät 439, 505, 616
 - Handhabungssystem 470
 - Handling der Werkzeuge 429
 - Handlingsysteme 743
 - Handy-Mold 450
 - Haptik 613, 679
 - Hartanodisieren 834
 - Hartbearbeitung 864
 - Hartchromschichten 842
 - Härte 826
 - Härten 839
 - Härtestabilisatoren 357
 - Harte und weiche Werkzeuge 493
 - Hartfräsen 860, 862, 864
 - Hartstoffbeschichtung 157
 - Härtungsvorgang 283
 - Hartverchromen 157, 834, 843
 - Harzabgießen 917
 - Harze 283
 - Harzfreie Schmierstoffe 795
 - Harzfreies Fett 796
 - Haupttrennebene A 380
 - Hautkomponente 621

- Hautschicht 621
- Hebel 507
- Heißkanalanguss 600
- Heißkanalblock 750
- Heißkanaldüse 222, 585, 697
- Heißkanäle 81, 134, 135, 208, 584, 600, 656, 658, 749, 755
- Heißkanalsysteme 122, 155, 208, 212, 655, 656
- Heißkanaltechnik 585
- Heißkanalverschlussdüse 677
- Heißkanalverteiler 204, 224, 225, 426, 688, 689
- Heißkanalverteilerblock 135
- Heißkanalwerkzeug 96, 112, 535
 - mit Nadelverschlussystem 584
- Heißläufer 208
- Heißprägefolie 681
- Heißprägetechnik 681
- Heißwassersprühstrahlen 789
- Heizbänder 213, 229, 704, 794
- Heizenergie 283
- Heizgeräte 345
- Heizkreis 217, 220
- Heiz-/Kühlgeräte 346
- Heizkurven 283
- Heizleistung 215, 229, 230, 231
- Heizpatronen 205, 207, 213, 229, 315, 344, 704, 794
- Heizpatronendurchmesser 229
- Heizplatten 344
- Heizrohre 213, 233
- Heizschlangen 213
- Heizstäbe 213, 344
- Heizsysteme 344
- Heizung 309
- Heizzeit 179, 234, 309, 607
- Hemmkräfte 518
- Herstellungsverfahren für Mikrokavitäten 698
- Herstellverfahren 857
- H-förmige Gleitschuhe 588
- High-Speed-Cutting 860
- Hinterfütterung 836
- Hinterprägen 583, 690
- Hinterschneidung 40, 94, 187, 195, 199, 203, 380, 429, 469, 488, 518, 519, 540, 765, 869
- Hinterschnitt 33, 227, 473, 488, 636, 678, 898
- Hinterschnittgeometrie 488, 492
- Hinterschnitthöhe 520
- Hinterspritzen 78, 210, 212, 583, 679
- Hinterspritztechnik 680
- Hinterspritzte Dekorationen 49
- Hinterspritzvorgang 685
- Hochfeste Werkzeuge 825
- Hochfrequenzspindeln 864
- Hochgefüllte Schmelzen 154
- Hochgeschwindigkeitsfräsen 802
- Hochleistungsdiolenlaser 901
- Hochleistungselektrolyte 804
- Hohle Kunststoffbauteile 626
- Hohlkörperblaswerkzeuge 831, 923
- Hohlprofile 626
- Hohlraum 626
- Hohlraumausbildung 644
- Hohlraumfunktionalität 626
- Hohlraumkonzentrität 627
- Holme 369, 431
- Holzmaserung 874
- Holzmehl 6
- Holzmodell 913, 918
- Holznarbung 921
- Homogenitätsgrenzen 288
- Hookesches Gesetz 477
- Horizontaler Dreheinrichtung 616
- Hot-Box-Verfahren 908
- Hot edges 224
- Hot-Spots 330, 660
- HSC-Fräsbearbeitungszentrum 901
- HSC-Fräsen 860, 862, 863

- HT-CVD (Hochtemperatur-Chemical-Vapour-Deposition) 845
 HT-CVD-Verfahren 845
 Hubvorrichtungen 445
 Hubwagen 445
 Hülle-Kern-Verfahren 906
 Hüllkurven 743
 Hülsen 407
 Hülsenförmige Formteile 471
 HUSKY 920
 Hydraulikdruck 744
 Hydraulikzylinder 453
 Hydraulisch 463
 Hydraulisch arbeitende Spannsysteme 453
 Hydraulisch betriebene Abschraubeinheit 532
 Hydraulische Maschinen 506
 Hydraulische Öffnungsbewegung 515
 Hydraulische Pressen 369
 Hydraulischer Auswerfer 506
 Hydraulische Spannschieber 455
 Hydraulische Spritzgießschließeinheit 368
- I**
- Idealer Festkörper 161
 IMD-3D/F-Technik 682
 IML-Technik 681
 Impuls 159
 Impulskühlung 345, 348
 Impulstemperierung 350
 Inbetriebnahme 785
 Indexplatte 615
 Indirekten Rapid-Tooling 887
 Indirektes selektives Lasersintern 894
 Indirekt messende Werkzeuginnendrucksensoren 732
 Induktionserwärmung 352
 Induktor 352
 Industrialkohol 789
 Infiltrationsvorgänge 895
 Infrarotbildern 752
 Infrarotstrahlung 753
 Infrarot-Thermografie 752
 Inhibitoren 792
 Inhomogenitäten 659
 Injection-Transfer-Molding (ITM) 238
 – Verfahren 605
 – Werkzeuge 604
 Injektionsnadeln 331
 Injektionspunkte 625
 Injektoranbindung 630
 Injektoraußenkontur 630
 Injektoren 620, 630
 – für die Gasinjektionstechnik 630
 – für die Wasserinjektionstechnik 631
 Injektorgröße 627
 Injektortechnologie 630
 Inkubationsphase 179
 Inkubationszeit 176, 177
 In-Lay-Technik 685, 686
 In-Mold-Assembly (IMA) 583, 591
 In-Mold-Coating (IMC) 685
 In-Mold-Decoration (IMD) 681
 In-Mold-Labeling (IML) 680
 In-Mold-Painting (IMP) 685
 In-Mold-Surfacing (ISF) 682
 – Technik 681
 Innenbeheizte Nadel 205
 Innenbeheiztes System 216
 Innengewinde 63, 64, 522, 525
 Innenringanguss 194
 Innere Führung 431
 Innere Hinterschneidungen 534
 Innere Spannungen 469
 Insert-Molding/Insert-Molding-Decoration 681
 Inserts 54, 590
 Insert-Technik 54
 Inspektion 781
 Inspektionsvorrichtungen 787

- Installierte Heizleistung 344
- Instandhaltung 747, 781, 900
- Instandhaltungsarbeiten 782, 787
- Instandhaltungspolitik 782
- Instandhaltungsstrategien 782
- Integrierte Fertigungsschritte 591
- Integrierte Montageoperation 619
- Integrierte Spannsysteme 455
- Integrierte Wechselsysteme 446
- Intervall-Spritzgießen 620, 621
- Investment Casting 906
- Ionenätzen 846
- Ionenbeschuss 847
- Ionenplattieren (Ion-Plating) 847
- Ionitrieren 841
- IR-Sensoren 734, 737
- IR-Thermografie 749, 752
- ISO 2859 742
- ISO 3951 742
- ISO 10012 743
- ISO-Gewinde 63
- Isolation 234, 281, 282, 286, 344
- Isolationsprüfer 794
- Isolierkanal 96, 213
- Isolierung 205, 265, 310, 314, 315
- Isolierwirkung 688
- Isopropanol 789
- Isothermenverläufe 314
- Isotoleranzreihen 45
- isotopes Schwindungsverhalten 77
- Ist-Analysen 750
- ITM-Verfahren 608
 - in der Elastomerverarbeitung 604
- J**
- Jürgeleit-Verfahren 607
- Just-In-Time-Fertigung 445
- K**
- Kachelbelichtung 896
- Kalibrierung 752
- Kalkablagerungen 357
- Kalkstein 749, 793
- Kalkulationsansätze 126
- Kalkulationsgenauigkeit 116
- Kalkulationsgruppe 118
- Kalkulationsgruppe I 119
- Kalkulationsrisiko 811
- Kaltaufschweißen 925
- Kalteinsenken 923
- Kalt härtendes Epoxydharz 805
- Kaltkanalblock 235
- Kaltkanäle 135, 233, 600
- Kaltkanalkassetten 241
- Kaltkanalsysteme 156, 233, 656
- Kaltkanaltechnik 238, 655, 701
- Kaltkanaltopf 238
- Kaltkanalwerkzeuge 112, 240, 584
- Kaltläufer 134, 208
- Kaltreiniger 795
- Kaltreinigungsmittel 789
- Kaltschweißgeräte 803
- Kaltverfestigung 829, 924
- Kaltverschiebungen 650
- Kanalabstand 289, 299
- Kanalanzordnung 295
- Kanaldurchmesser 142, 227
- Kanalgeometrien 294
- Kanavec-Rheometer 182
- Kapillarrheometer 168
- Kapillarskelett 911
- Kaschieren von Einfallstellen 28, 36
- Kaskadenanguss 152, 224
- Kaskadenangussystem 210
- Kaskadenanspritztechnik 690
- Kaskadenanspritzung 212
- Kaskadenregelung 353
- Kaskadensteuerung 584
- Kassettentechnik 240
- Kassettenwerkzeuge 450
- Kastenförmige Spritzlinge 339
- Kathodenzerstäubung 847

- Kationen 874
Kautschuk 5, 238, 283, 419
Kautschukfell 604
Kautschukverarbeitung 604
Kavität 2, 51, 133
Kavitätenzahlen 584, 585
Kavitation 792
Kavitätsvolumen 663
Kegelanguss 51
Kegelradgetriebe 526
Kegelwinkel 187
Keile 423, 448
Keilschieber 435
Keramikeinsatz 235
Keramiken 893
Keramikform 906
Keramikschale 906
Keramikschicht 906
Keramik (Soligen) 894
Keramische Werkstoffe 836
Kerbspannungsrissempfindlichkeit 29
Kerbwirkung 55
Kerndurchmesser 409
Kerne 195, 250, 329, 404, 429, 470, 663
Kerneinspannung 413, 417, 423
Kernhalteplatte 423, 425
Kernherstellung 908
Kernhöhe 408, 409
Kernhöhendurchmesser Verhältnis 408, 414, 416
Kernkomponente 621
Kernkühlssysteme 340
Kernkühlung 329
Kernlagerung 194, 407, 417
Kernmaterialfließfront 622
Kernmaterialverteilung 624, 625
Kern mit Schirmanguss 411
Kernsand 908
Kernschicht 621
Kernschieber 617
Kerntemperatur 342
Kernträgerplatte 379
Kernversatz 407, 429
Kernzugbewegungen 616, 618
Kernzüge 548
Kernzugsteuerung 507, 526, 664
Kernzugverfahren 629
Kesselformel 476, 477
Kirchhoff 749
Klappkern 534
Kleiderbügel 190
Kleinserien 450
Klinke 514
Klinkenzug 513, 514
Knetwerkstoffe 832
Knickfestigkeit 495
Knicklänge 487, 496
Knickung 487
Kniehebel 543
Kniehebelpresse 369
Kniehebelschließeinheiten 368
Kniehebelspannelemente 690
Kniestücke 296
Koaxialkabeltechnik 730
Koaxialnadelverschlussdüse 622
Kochversuch 283
Kohlenstoffpotenzial 839
Kohlenstoffübergangszahl 839
Kokillengießen (Umgebungs- und Niederdruckkokillenguss) 914
Kokillenguss 915
Kolbenaggregate 700
Kolbenspritzeinheit 604
Kompaktspritzgießen 628, 643
Komplette Baugruppen 809
Komponentenströme 621
Kompressibilität 74
– des Öles 369
Kompressionsphase 74, 235
Kondensationszone 334
Kondensorlinsen 678
Kondenswasser 796

- Kondenswasserbildung 345
Konditioniertes Wasser 794
Konische Hülsen 480
Konizität 25, 40, 187, 408, 469, 519
Konizitätsvergrößerung 474
Konkavbereich 315
Konkavseite 315
Konsistenzfaktor 165
Konstruktionselemente 812
Konstruktionsfehler 800
Kontakttemperatur 735
Kontaktflächen 139
Kontakttemperatur 290, 291, 735
Kontakttemperatursensoren 734, 735, 737
Kontraktion 77
Kontraktionspotenzial 80
Kontrolle der Kühlkanäle 756
Konturangepasste Kühlkanäle 895, 897
Korturnahe Temperierung 341
Konusfutter 543
Konvektion 280, 301, 312
Konvektiver Wärmeübergang 300
Konventionelle Fräsbearbeitung 862
Konvexbereich 315
Konvexeite 315
Koordinatenschleifen 866, 867
Kopierfrästechnik 862
Korrosion 248, 295, 788, 801
Korrosionsbeständigkeit 837
Korrosionsschutzmitteln 357
Korundschleifscheiben 866
Kosten 857
Kostenähnlichkeit 116, 117, 123
Kosteneinflussgrößen 117
Kostenfunktion 116, 117, 118
Kostenkalkulation 115
Kostenkalkulationssoftware 118
Kostenprognose 116
Kraft 75
Kraftabschätzung 485
Kraftaufnahme 93
Kräftegleichgewicht 110
Kraftfluss 381
Kraftschluss 58
Kraftschlüssige Verbindung 59
Kraftsensoren 732
Kranzanguss 194
Kranzanschnitt 194
Kratzer 429, 788
Krause 375
Kreiskrümmen 296
Kreislauufführung 346
Kreislaukkennlinie 356
Kreisquerschnitte 296
Kreiszyklindrische Formnester 375
Kristallisationsgrad 738
Kristallisationsvorgänge 74
Krümmen 296
Krümmungswinkel 296
Kubisches Bornitrid (CBN) 864
Kugelführungen 435
Kugelkäfig 433, 435
Kugelpkopfwerkzeuge 862
Kugellagerkugeln 512
Kugelleisten 460
Kugelraste 510, 511, 539
Kühleigenschaften 900
Kühlfinger 331, 340, 502
Kühlgeräte 345
Kühlkanäle 329
Kühlmaschinen 348
Kühlmedium 265, 291
Kühlschrankboxwerkzeug 339
Kühlsegment 316
Kühlsystem 765
Kühlung 265
Kühlwasserbatterie 348
Kühlwasserdruck 348
Kühlwasserimpulse 349
Kühlwasserkreislauf 347
Kühlwassernetz 348

- Kühlwasserverbrauch 348
 Kühlwendel 334
 Kühlzeit 20, 187, 265, 266, 270, 288, 751
 Kühlzeitberechnung 288, 290
 Kühlzeitermittlung 270
 Kühl-/Zykluszeitreduzierung 627
 Kunststoffhohlkörper 626
 Kunststoff-Metall-Verbunde 54, 58
 Kupfer 223, 922
 Kupfer-Beryllium 223, 225
 Kupfer-Beryllium-Legierungen 829
 Kupfereinsätze 343
 Kupferelektroden 870
 Kupferkern 900
 Kupferlegierungen 829, 843, 923
 Kupfersulfatlösung 925
 Kupplung 460
 Kupplungssysteme 461
 – für Energietransport 460
 Kupplungsträgerplatten 461
 Kurbelzugstangen 588
 Kurvenleiste 514, 515
 Kurzglasfasern 108
 Küvetten 678
- L**
- Lackieren 679
 Lackschichten 681
 Ladungs-/Spannungswandler 725
 Ladungsverstärker 725
 Lage
 – der Anspritzpunkte 658
 – des Anschnittes 149
 – des Verteilerkanals 111
 Lagerhaltung 811
 Lagerung
 – der Werkzeuge 781, 785
 – des Kerns 424
 Lamcoat-Beschichtung 851
 Lamellen 404
 Lamellenpaket 251, 252
 Laminare Strömung 297
 Laminieren 679
 Längendurchmesser Verhältnis 295, 419
 Längenschwindung 72, 478, 485
 Längenschwindungswert 75, 379
 Längen-Wanddickenverhältnis 266
 Längsanströmung 625
 Laser 790
 Laserabtragen 896
 Laserauftragschweißen 901
 Laserauftragschweißungen 801
 Laserbeschichten 918
 Laserbeschriften 896
 Laser-Carving-Anlage 884
 LaserCUSING 896
 Laser-Engineered-Net-Shaping (LENS) 900
 Laserfokusdurchmesser 896
 Laserformen 897
 Lasergenerieren 899, 901
 Laserschmelzen (SLM) 895, 896, 902
 Lasersinteranlage 893
 Lasersintern 894
 Laserstrahlabtragverfahren 881
 Laserstrahlbeschichten 849, 851
 Laserstrahldispargieren 849, 851
 Laserstrahlhärten 849, 850
 Laserstrahllegieren 851
 Laserstrahloberflächenbehandlung (LOB) 849
 Laserstrahloxidspanen 882
 Laserstrahlquellen 850
 Laserstrahlschmelzabtragen 881
 Laserstrahlschweißen 800, 801
 Laserstrahlumschmelzen 849, 850
 Lasersysteme 789
 Lateralabmessungen 694
 Laufeigenschaften 535
 Lebensdauer 248, 781, 857

- Lebenslauf 784
- Leckage 461, 630, 795
- Leckagebereiche 635
- Leckagewarnung 795
- Leckmaterial 585
- Ledernarbung 874, 921
- Legierungselemente 826
- Leisten aus Keilstahl 441
- Leistung 233
- Leitgewinde 533
- Leitgewindebüchse 531
- Leitlacküberzug 919
- Lichtbogenimpulse 803
- Lichtbogenspritzen 918
- Lichtbogenverdampfen (ARC-Verfahren)
847
- Lichtempfindliches Kunstharz
(Photopolymer) 889
- Lichtleiter 736
- Lichtleiterbündel 736
- Lichtleiterlänge 737
- LiGA-Technik 698
- LiGA-Verfahren 837
- Lineare Schwindung 473
- Linienförmiger Anguss 52
- Linsen 678
- Liquid-Silicone-Rubber (LSR) 699
- Lithographie 837
- Löcher 60
- Lochfraß 789
- Lochgestaltung 60
- Lochstifte 60, 62
- Lochtiefen 62
- Lokale Spannungen 488
- Losbrechen 505, 539
- Losbrechkkräfte 470, 474, 477, 510
- Losgrößen 445
- Lötfolie 800
- Lötprozess 800
- LSR-Spritzgießaggregat 700
- LSR-Verarbeitung 699
- Luft 250
- Luftauswerfer 505, 513
- Luftauswerfer-Düse 600
- Lufteinschlüsse 33, 248, 253, 703
- Lüfterrad 484
- Luftkissenfahrzeuge 465
- Luftspalt 205
- Lufttasche 220
- Lunker 21, 33, 53, 187
- Lunkerbildung 32
- Lupen 678
- M**
- M3-Linear-System 896
- Magnesiumoxid 880
- Magnetisch 463
- Magnetische Spannsysteme 458
- Magnetplatten 457, 812
- Magnetron-Sputterverfahren 848
- Magnetsysteme 446, 457
- Makrorauigkeit 874
- Mantelthermoelemente 734
- Manuelle Politur 879
- Manufacturing-Execution-Systems (MES)
744, 748
- Mapping 405
- Marmorierte Spritzgussteile 621
- Martensitisches Gefüge 839
- Maschinenaufnahme 93
- Maschinendüsen 630
- Maschineneinstellparameter 745
- Maschinenformverfahren 908
- Maschinengröße 104
- Maschinenschließkraft 402, 573
- Maschinenstillstandszeiten 445
- Maschinenverschleiß 738, 743
- Maskenformverfahren 907, 909
- Maßabweichungen 44, 71, 363
- Maßänderungen 45, 71, 72, 75, 789,
796
- Maßänderungsverhalten 425

- Masseanhäufungen 27, 31, 34, 642, 643, 648, 765
 – an verrippten Profilen 37
 Masekuchen 672
 Masserückdruckverfahren 629
 Masseschluss 794
 Massetemperatur 267, 270, 766
 Massevorlagetemperatur 313
 Maßfamilien 82
 Maßhaltigkeit 407, 429
 Masterkurve 167
 Materialcharakterisierung 181
 Materialeigenschaften 743, 766
 Materialersparnis 626
 Materialkennwerte 391
 Materialkombinationen 619
 Materialkonstante 292
 Materialreste 788
 Materialverteilung 623, 625
 Materialwerte 270
 Mathematische Qualitätsoptimierung 745
 Matrixmaterial 76, 81
 Mattieren 790
 Maximaldehnung 490
 Maximale Entformungstemperatur 274
 Maximale Fließweglänge 22
 Maximaler Kernversatz 407
 Maximalspannung 490
 Maximaltemperatur 272
 Maximal zulässige Hinterschneidung 43
 MCP-Realizer 897
 Mechanische Auslegung 363
 Mechanische Bearbeitungsverfahren 788
 Mechanische Belastung 71
 Mechanische Eigenschaften 649
 Mechanische Nacharbeit 797
 Mechanische Spannelemente 446
 Medienleitungen 626
 Mehretagenwerkzeug mit
 Heißkanalverteiler 586
 Mehrfachanbindung 689
 Mehrfachanguss 199
 Mehrfachanschnitte 66
 Mehrfachanspritzung 197
 Mehrfachkavität 640
 Mehrfachwerkzeuge 195, 197, 529, 640
 Mehrfarbenspritzgießen 685
 Mehrfarben-Spritzgießen 619
 Mehrkavitäten 608
 Mehrkavitätenwerkzeug 585, 604, 644
 Mehrkomponenten-Dosieranlage 699
 Mehrkomponentenformteile 590
 Mehrkomponenten-Spritzgießen 583, 613
 Mehrkomponententechnik 50
 Mehrrohstoff 619
 Mehrstoff 619
 Mehrstufige Folien-Hinterspritzverfahren 682
 Mehrstufiges, post-tailored Folien-Hinterspritzverfahren 683
 Mehrstufiges, pre-tailored Folien-Hinterspritzverfahren 684
 Membrane für Mikrofone 678
 Membran- oder Scheibenguss 192
 Memory-Effekt 154
 Messen in Spritzgießwerkzeugen 723
 Messerkopf 862
 Messfehler 233
 Messfühler 794
 Messfühleranordnung 232
 Messflaschen 732
 Messstelle 233
 Messstift 726
 Metalldruckgießformen 886
 Metalle 825, 893
 Metalleinlegeteile 419, 917
 Metall (Extrude Hone/ProMetal) 894
 Metallpasten 803
 Metallpulver 803, 894
 Metallspritzen 918
 Metallspritzpistole 918

- Metallspritzverfahren 920
Mikroerodieren 884
Mikroerosion 871
Mikrofräsen 884
Mikrofunkenerosion 698
Mikrogravuren 884
Mikrolaserabtragen 698
Mikrorauigkeit 874
Mikrosandstrahlen 249
Mikrospritzgießwerkzeug 259
Mikrostrukturen 258, 693, 878
Mikrostrukturierte Formteile 695
Mikrosystemtechnik 693
Mikroteile 350
Mikrozerspanung 698
Mindestradius 30
Mindesttemperatur 291
Mineralpulver 6, 77
Mischblock 699
Mischdüse 621
Mischkonstruktion 556
Mittlere Formteilmtemperatur 272
Mittlere Öffnungskräfte 493
Mobile Laserschweißgeräte 802
Modellabmessungen 909
Modelltraube 911
MOLDEX3D 190
MOLDFLOW 190, 643
moldMIND 746
Molekülorientierungen 38, 672
Molybdädisulfid 432, 494, 535, 795
Monosandwich-Spritzgießen 622
Montage 613
Montagearbeiten 590, 591, 786
Montagefreundlichkeit 241
Montagekosten 50
Montagenippel 731
Montage-Spritzgießen 619
Montageteilen 797
MPS-Geräte (Mold-Protection-System)
795
MT-CVD (Mitteltemperatur-Chemical-
Vapour-Deposition) 845
Muffenausformstück 549
Multikupplungen 447
Multikupplungssysteme 460
Multispace-Erodieren 869
- N**
- Nachbearbeitung der Oberflächen 922
Nachdruck 74, 79, 187, 210, 212,
219, 425, 628, 766
Nachdruckdauer 628
Nachdruckhöhe 79
Nachdruckphase 155, 663, 702
Nachdruckprofil 584
Nachdruckwirkung 650
Nachdruckzeit 81, 195, 204
Nachkonditionierung 72
Nachkristallisation 72
Nachschwindung 45
Nachspritzkomponente 618
Nachvermischung 700
Nadelverschluss 656
Nadelverschlussdüse 211, 219, 220,
224, 601, 657, 672, 700, 702
Näherungsschalter 455
Nassdampfsprühstrahlen 789
Naturdiamant 880
Natürlich balancierte Angussysteme 654
Natürliche Balancierungen 701
NC-Fräsmaschinen 862
NC-gesteuerte Maschinen 861
NC-Programme 556
Nd
– YAG-Laser 801
Nd:YAG-Laser 900
Nebenkavitätenverfahren 628
Nebenzeit 292
Negativmodell 906, 912
Neigungswinkel 40, 539
Nennmaß 71

- Nestrandbereich 369
 Nesttemperatur 342
 Nestverformung 367, 368
 Newtonsche Flüssigkeiten 294
 Newtonsches Fluid 162
 Newtonsche Viskosität 163
 Nichteisenmetallische Werkstoffe 829, 922
 Nichtrunde Werkzeugkonturen 376
 Nicht werkzeuggebundene Maße 85
 Nickelgalvanik 919
 Nickel-Kobalt-Legierungen 837
 Nickelschichten 843
 Nickeltetracarbonyl 921
 Nickelüberzüge 842
 Niederdruckkokillenguss 915
 Niederdruckspritzgießverfahren 680
 Niederdruck-Verfahren 656
 Nippel 460
 Nitrieren 839, 841
 Nitriertemperatur 841
 Nitrierzeit 841
 Nitrocarburieren 841
 Nocken 534
 Normalien 120, 121, 208, 809
 Normaliendateien 811
 Normalienhersteller 122
 Normalienkatalog 811
 Normalienkosten 120
 Normalkraft 476, 485
 Normalspannung 474
 Normalwerkzeug 96, 99
 Notlaufeigenschaften 494, 535
 Nukleierung 655, 664, 666
 Nullfehler-Lieferung 742
 Nullserienfertigung 835, 923
 Nullviskosität 163, 167
 Nusselt-, Reynolds- und Prandtlzahl 296
 Nutsteine 646
 NYE-CARB-Verfahren 843
- O**
 Oberflächenbehandlungsverfahren 838
 Oberflächenbehandlung von Stählen 837
 Oberflächenbeschaffenheit 143
 Oberflächenfehler 217, 796
 Oberflächengestaltung 44
 Oberflächenhärte 839
 Oberflächenqualität 649, 661, 669
 – beim Schaumspritzgießen 662
 – Welligkeit 302
 Oberflächenrauheit 474
 Oberflächenriefen 667
 Oberflächenstrukturierungen 669
 Oberflächenveredelung 679, 834
 Oberflächenverfestigung 790
 Oberflächenvergütung 157
 Oberflächenverschmutzungen 788
 Offene Düse 222, 584, 672, 702
 Öffnungsbewegungen 432
 Öffnungshub 104, 106, 210, 458, 539
 Öffnungskraft 369, 454, 470, 474, 492, 539
 Ohmmeter 794
 Öle 157
 Ölgeräte 347
 Oligomere 157
 Ölpapier 796
 One-Shot-Verfahren 679
 Online Produktions- und Qualitätsüberwachung 745
 Online-Qualitätsüberwachung 743
 Operate-Zustand 726
 Optimale Betriebsbedingungen 748
 Optimaler Betriebspunkt 738
 Optimale Wanddicke 19
 Optimierung 738
 – von Kühlkanälen 758
 Optische Bauteile 608
 Optische Speicher 678
 Optische Verzerrungen 350

- Organische Strahlmittel 790
- Orientierungen 34, 51, 76, 79, 151, 155, 189, 350, 669, 672, 738
- Orientierungsrelaxation 76
- Orientierungsrichtung 76, 151
- O-Ring 254, 340
- Ortung bei thermisch bedingten Fehlern 748
- Outserts 54
- Outsert-Technik 54, 58
- Overmolding 583, 603, 613
- Overmolding Tandemwerkzeug 603
- Oxidationsreaktionen 794
- Oxidschicht 834
- P**
- PA-CVD (Plasma-Assistet-Chemical-Vapour-Deposition) 845
- PACYNA-Kennzahlen 124
- Paintless-Film-Molding (PFM) 681, 682
- Parallelkühlung 335
- Parallelschaltung 339, 387
 - von Elementen 372
- Parkeinheit 461
- Partielle Härtezonen 850
- Partielle Oberflächenveredelung 801
- Partielles Härteverfahren 850
- Passbolzen 441
- Passive Entformungshilfen 703
- Passive Entlüftung 249
- Passsitz 430
- Passtoleranzen 432
- Pasten 789, 879
- PE-CVD (Plasma-Enhanced-Chemical-Vapour-Deposition) 845
- PE-CVD-Prozess 845
- Pedalwerke 626
- Peripheral venting 251
- Permanentmagnete 464
- Personaleinsatz 783
- Pflegemaßnahmen 796
- Pflege und Wartung der Werkzeugoberflächen 788
- Physikalische Gasphasenabscheidung 844, 848
 - PVD-Verfahren 846
- Piezoelektrischen Prinzip 725
- Piezo-Kontakt 746
- Pilzauswerfer 502, 513, 704
- Planbearbeitung 866
- Plancksches Gesetz 749
- Plancksches Strahlungsgesetz 749
- Planetärerodieren 869
- Planetärerodierttechnik 869
- Planflächen 878
- Plasmaspritzen 918
- Plasmatemperatur 871
- Plastifiziereinheit 2, 3, 4, 6, 429
- Plastifizierleistung 104
- Plastifizierzylinder 133, 218
- Plastik-Stahl 805
- Plastische Deformation 924
- Plastische Seele 622, 765
- Plastische Verformung 403, 519
- Pneumatikzylinder 455
- Pneumatisch 463
- Pneumatische Verriegelung 515
- Poissonsche Zahl 375
- Polierbarkeit 922
- Polierbelag 879
- Polieren 788, 877, 922
- Poliermedium 877, 879
- Poliermittel 789, 879, 880
- Poliermittelträger 879
- Polierpaste 877
- Polierstrategien 878
- Poliersuspension 877
- Polierte Oberflächen 877
- Poliertonerde 880
- Polierwerkzeug 789, 877
- Politur 878, 879
 - mit flächigen Werkzeugen 878

- Polykondensate 240
 - Polykondensations-Formmassen 240
 - Polymerisations-Formmassen 240
 - Position der Bindenaht 53
 - Positionierung
 - des Angusses 52
 - von Werkzeuginnendruckensoren 724
 - Positivmodellherstellung 905
 - Post-tailored 682
 - Potenzansatz nach Ostwald und De Waele 164, 176
 - Prägehub 672
 - Prägen 625
 - Präge- oder Lüftprogramm 703
 - Prägephase 672
 - Prägespalt 672, 676
 - Prägeverzögerungszeit 672
 - Prandtlzahl 296
 - Präzisionsanforderungen 363
 - Präzisionsbauteile 350
 - Präzisionsguss 922
 - Präzisions-spritzguss 45, 416
 - Präzisionsteile 431
 - Pressverfahren 672, 679
 - Pre-tailored 682
 - Primärkorngrößen 922
 - Prinzip der hierarchischen Ähnlichkeitssuche 127
 - Prismen 678
 - Probespritzungen 831, 923
 - Produktionskosten 115, 406
 - Produktionssteigerung 585
 - Produktionsüberwachung 742
 - Produktionszeit 406
 - Profilierte Auswerferstifte 496
 - Programm 405
 - Projektilinjektionstechnik 50
 - Projizierte Formteifläche 367
 - Proportionalitätsfaktor 280
 - Prototypen 450
 - Prototypwerkzeug 887
 - Prozess 738
 - Prozessablauf 179
 - Prozessänderungen 79
 - Prozessführung 695
 - Prozessgrößen 744
 - Prozessmedium 620, 631
 - Prozessmodelle 745
 - Prozessoptimierung 724, 737
 - Prozessregelung 733
 - Prozesssicherheit 640
 - Prozesssimulation 22, 66
 - Prozesssimulationsprogramme 54
 - Prozesssteuerung 733
 - Prozessstörungen 583
 - Prozesstemperatur 228
 - Prozessüberwachung 733
 - Prozesswissen 745
 - Prüfkörper 450
 - PTFE-Kolbendichtung 635
 - Pulsdauer 294
 - Pulverisiertes Metall 805
 - Pulvernitrieren 841
 - Pulver- oder Granulataufkohlen 840
 - Pulverpartikel 895
 - Pulverspritzgießen 155
 - Pumpenkennlinie 356
 - Pumpleistung 303
 - Punktanguss 51, 656
 - Punktanschnitt 411
 - Punktanschnitt 701
 - Punktförmiger Anschnitt 146
 - PVD-Beschichten 834
 - PVD-Beschichtung 848
 - PVD-Verfahren (Physical-Vapour-Deposition) 844, 846
 - p-v-T-Diagramm 74, 79, 379, 478, 493
 - p-v-T-Verhalten 74
- Q**
- Qualität 363, 809
 - Qualitätsdokumentation 733, 742, 744

- Qualitätslenkung 745
Qualitätsmängel 217
Qualitätsmerkmale 744, 745
Qualitätsmodelle 743, 744
Qualitätsschwankungen 747
Qualitätssicherung 724, 743
Qualitätsüberwachung 724, 742, 744
Quarzgutstrahler 352
Quellströmung 154
Queranströmung 404
Querkontraktionszahl 476
Querschnittsänderungen 641
Querschnittssprünge 738
Querschnittsveränderungen 172
Querschnittsverengungen 66
Querschwindung 151
Quick-Cast 906
- R**
- Radiale Stauchung 376
Radiale Verarbeitungsschwindung 72
Radialinjektor 636
Radialwellendichtringe 488
Radialwellendichtringentformung 489
Radien 29
Rahmen 543
Randfaserdehnung 522
Randschicht 474, 663
Randschichtdicke 660, 664
Randschichten 738
Randschichtenthärtung 248
Rapid-Tooling 900
Rapid-Tooling-Einsätze 898
Rapid-Tooling-Werkzeuge 901
Rattermarken 429
Rauheit 474
Rauigkeit 249
Rautiefe 474
Reaktionsgemisch 700
Reaktionsgrad 277
Reaktionskinetik 176
Reaktionsparameter 285
Reaktionsumsatz 284
Reaktionswärme 277, 283, 284, 365
Reaktionszeit 284
Reaktivgase 845
Rechenprogramme 128
Rechteckführungen 436
Rechteckige Hülsen 480
Reflektorbleche 231
Reflexion 753
Reflexionsanteile 736
Regelkreis 228
Regelung 220
– der Mediumstemperatur 352
– der Werkzeugtemperatur 353
Regler 228
Reibkontakt 470
Reibungsbeiwert 474, 485
Reibungskoeffizient 475
Reibungskräfte 377
Reibungswiderstand 536
Reibungszahl 538
Reibverhältnisse 488
Reihenschaltung von Elementen 372
Reihenverteilungen 654
Reinigen
– durch Strahlen 789
– mit Laser 791
– mit Trockeneis 790
– mit Ultraschall 792
Reinigung 357, 637
– des Kühlwassers 346
Reinigungsarbeiten 786
Reinigungsbad 792
Reinigungsflüssigkeit 792
Reinigungsmittel 357, 789
Reinigungsprozess 791
Reinigungssysteme 789
Reißnadel 249
Reißspannung 492
Relative Eindringtiefe 487

- Relative Umfangsänderung 476
 - Relative Umfangsschwindung 479
 - Relative Volumenschwindung 479
 - Relaxation 56, 72
 - Relevante Qualitätsmerkmale 745
 - Reorientierungsvorgänge 72
 - Reparaturarbeiten 782, 798
 - Reparaturen 796, 800
 - Reparaturfall 812
 - Reparaturkosten 782, 783
 - Reparaturmaßnahmen 802
 - Reparaturschweißen 803
 - Reparaturstelle 804
 - Reparaturzeiten 783
 - Reparaturzwecke 899
 - Reset-Zustand 726
 - Ressourcenorientierte
 - Prozesskostenrechnung 126
 - Ressourcenverbrauch 126
 - Ressourcenverbrauchsfunktion 127
 - Restlufteinschlüsse 703
 - Restschmelze 315
 - Restwanddicke 627, 646
 - Reynoldszahl 296
 - Rheologische Grundlagen 159
 - Rheologische Simulation 759
 - Rheologische Werkzeugauslegung 157
 - Rheopexie 162
 - RIC-Technik 241
 - Riefen 249, 429, 788
 - Ringanguss 52, 193
 - Ringauswerfer 499, 509
 - Ringkanal 251
 - Ringspalt 631
 - Rippen 33, 404, 534, 625, 651
 - Rippenfuß 625
 - Rippengestaltung 34
 - Rippenkreuzungen 34
 - Rippenkreuzungspunkte 498
 - Rissbildung 55, 490, 896
 - Rissbildungszonen 490
 - Risse 316, 800
 - Roboter 470, 505, 742
 - Rohrähnliche Formteile 626
 - Rohrfittings 548
 - Rohrformstücke 549
 - Rohrheizkörper 220, 227, 233, 345
 - Rohrheizpatronen 229
 - Rohrreibung 296
 - Rohrreibungskoeffizient 295
 - Rollenbahnen 448
 - Rollenleisten 460
 - Rost 749, 793
 - Rostablagerungen 357
 - Rostbildung 788
 - Roststellen 789
 - Rotationssymmetrische Formteile 25, 329, 336
 - Routinearbeiten 812
 - RP-Modell 905, 906, 919
 - RP-Urmodelle 919
 - RT-Abformketten 887
 - RT-Kette 886
 - Rückdrückstifte 463, 504, 516
 - Rückdrückvorrichtung 507
 - Rückströmsperre 700
 - Rückzugeinrichtungen 516
 - Rückzugmechanismus 503
 - Rückzugsicherung 518
 - Rückzugvorrichtung 507
 - Rundgewinde 64, 523
 - Rundzentriereinheiten 441
- S**
- Sacklöcher 62, 262, 534
 - Sacklochgestaltung 62
 - Salzbadaufkohlen 840
 - Sandformverfahren 907
 - Sandguss 907, 909
 - Sandstrahlen 704, 867
 - Sandwichbauteile 622
 - Sandwichmolding 621

- Sandwich-Spritzgießen 620, 621, 624, 625
– + WIT (2K-WIT) 635
Sandwichstruktur 621
Saphirglas 736
Sättigungsdruck 658, 665
Säurefreie Schmierstoffe 795
Säurefreies Fett 796
Scanner 791
Schäden 783, 788
– an Trennebenen 248
Schadensfälle 784
Schadensintervalle 783
Schadensursache 796
Schädigung empfindlicher Werkstoffe 211
Schafffräser 862
Schallplatteneffekt 148
Schäumdruck 659
Schaumrippe 652
Schaumspritzgießen 648
Schaumstoffmodell 913
Schaumstruktur 660, 664
Schäumwerkzeuge 647
Scheinbare effektive Viskosität 108
Scherbelastungen 535
Scherfließen 161
Schergeschwindigkeit 162, 207, 227
Schergeschwindigkeitsprofile 172
Scherströmung 162
Scherung 224
Schichtgrenzprofil 622, 625
Schieber 41, 247, 381, 488, 518, 535, 536, 540, 701, 795, 810, 917
Schieberkurve 536, 540
Schiebermechanik 540
Schieberteilwege 540
Schieberverriegelung 393
Schieberwerkzeug 96, 119, 436, 493, 534, 536, 691
Schiebetisch 616
Schirmguss 52, 191, 411
Schlagfestigkeit 150
Schlagzähe Kunststoffe 56
Schlamm 749, 793
Schleifen 866
Schleifmittel 789
Schleifprozesse 863
Schleifscheibe 866
Schleifstifte 867
Schleifwerkzeuge 789
Schlichten 882
Schlierenbildung 667
Schlierige Oberflächen 874
Schließbewegung 432, 697
Schließeinheit 2, 365, 369, 429
Schließfläche 368
Schließflächeneinsatz 539
Schließflächenwinkel 539, 542
Schließkraft 364, 366, 369, 381, 401
Schließkraftkomponenten 401
Schließseite 469
Schlüter 118
Schmelze 630
Schmelzeanguss 643
Schmelzeanschnitte 625
Schmelzeigenschaften 161
Schmelzeelastizität 154
Schmelzeexplosionen 651, 653, 657, 658
Schmelzefilter 218, 225
Schmelzeförmiger Kern 628
Schmelzeführung 600
Schmelzeinjektion 631
Schmelzekuchen 672
Schmelzestagnationen 584
Schmelzestrom 52
Schmelzetemperatur 208, 270, 272, 685, 744
Schmelzeventil 584
Schmelzeverdrängung 627
Schmelzeviskosität 80, 154
Schmelzpunkte 835

- Schmelzschweißverfahren 801
 Schmierrillen 432
 Schmierstofffilm 432
 Schnapphaken 41, 651, 652
 Schnappverbindungen 49, 519, 520
 Schnappvorrichtungen 520
 Schnecke 2
 Schneckenhub 766
 Schnecken-spritzeinheit 604
 Schneckenweg 744
 Schneiderodieranlagen 873
 Schneiderodieren 872
 Schnellarbeitsstahl (HSS) 861
 Schnellkupplungen 446
 Schnellspannsysteme 812
 Schnellspannvorrichtungen 446
 Schnellzerreiversuch 490
 Schrägbolzen 436, 493, 536
 Schrägbolzenführung 539
 Schrägbolzen-Winkel 540
 Schrägungswinkel 399
 Schraubenkopflager 435
 Schrumpf 906
 Schrumpfpassungen 425
 Schrumpfspannungen 56
 Schrumpfungen 800
 Schub 371
 Schubspannung 162
 Schubverformung 364
Schürmann 289
 Schussfolge 201, 204
 Schussgewicht 225
 Schussvolumen 104, 210
 Schutzheizung 265
 Schutzschicht 834
 Schutzüberzüge 842
 Schwachstellenanalyse 785
 Schwalbenschwanzführung 535
 Schwarze Strahler 736, 749
 Schweißverfahren 800
 Schwerkraftguss 835
 Schwimmhautbildung 134, 363
 Schwimmhäute 156, 247, 256, 364, 365, 368, 380, 402, 499, 676, 796
 Schwindmaß 474
 Schwindmaßzuschlag 909
 Schwindung 21, 45, 59, 71, 74, 81, 149, 151, 189, 210, 315, 425, 469, 470, 909
 – -anisotropie 72
 – -behinderung 75
 – -seigenschaften 51
 – -skompensation 702
 – -spotenzial 21, 650
 – -stabellen 82
 – -unterschiede 31
 – -verhalten 79
 – -svorhersage 82
 – -swerte 475
 Scorch-Index 176, 179
 Scorching 283
 Seifenlauge 789
 Seitenlängen-Verhältnis 480
 Selbstbetätigte Injektoren 632, 633
 Selbstreinigender Entlüftungsstift 255
 Selective-Laser-Sintering 906
 Selektives Laserschmelzen 895, 897
 Selektives Lasersintern (SLS) 893, 895
 – von Metallen 893
 Senkerodieren 869
 Sensor 224, 724
 Sensorik 447, 460
 Sequenzverfahren 613, 620
 Serielle Verfahren 614
 Serienkühlung 335
 Seriennahe Prototypen 884
 Serienproduktion 724
 Servoelektrische Maschinen 506
 Servomotoren 506
 Shaw-Verfahren 907, 911
 Shore-Härte 906
 Short-Shot-Verfahren 628, 643

- Sichtbare Markierungen 51
- Sichtflächen 253
- Sicken 38
- Siebdruckverfahren 876
- Siegelpunkt 493, 628
- Silberschlieren 649, 650, 669
- Silikon-Kautschuk 523
- Silikonkautschukform 905
- Siliziumdioxid 881
- Siliziumtechnologie 698
- Simulation 54, 147, 253
 - des Fertigungsprozesses 562
- Simulationsprogramme 176, 660
- Simulationsrechnung 420, 739
- Single-Wire-Technik 730
- Sintermaterial 334
- Sintermetallbuchsen 689
- Sintermetalle 253
- Sintermetallstopfen 253
- Sn-Bi-Legierung 425
- Soft-Tooling 905
- Sonderfunktionseinheiten 119, 122
- Sonderwerkzeuge 96, 583
- Spaghetti-Bildung 148
- Spaltbildung 367, 368, 369
- Spalte 364
- Spalthöhe 251
- Spaltprodukte 788
- Spaltweite 4, 5, 256, 400, 402, 701
 - für Entlüftungen 676
- Spaltweitenbestimmung 396
- Spanende Bearbeitung 905
- Spanende Bearbeitungsverfahren 860
- Spannbolzen 447, 456, 463
- Spannelemente 430, 445, 689
- Spannkraft 454, 458
- Spannrahmen 692
 - fixiert 683
- Spannrandhöhe 453
- Spannsysteme 445, 463, 810
- Spannungen 800
- Spannungsfeld 159
- Spannungsgleichgewicht 316
- Spannungskonzentration 30, 33, 55, 58
- Spannungskonzentrationsfaktoren 30
- Spannungsrelaxation 76
- Spannungsrissempfindlichkeit 150
- Spannungsrissgefahr 342
- Spannungsspitzen 492
- Spannungs- und Dehnungsverteilung 490
- Spannviskosität 162
- Spannzylinder 453
- SPC (Statistical-Process-Control) 743
- Speicher 258
- Sperrschieber 617, 645
- Sperrzylinder 461
- Spezifischer Wärmehalt 265
- Spezifischer Wärmestrom 292
- Spezifische Wärmekapazität 267
- Sphären 878
- Spindelantrieb 506
- Spiralförmige Temperierkanäle 336
- Spiralkerne 334
- SPI-Standardplatten 448
- Sprays 789
- Spritzdruck 110, 248, 425, 496
- Spritzfehler 231
- Spritzgießmaschine 429
- Spritzgießsimulation 566
- Spritzgießsonderverfahren 613
- Spritzgießverfahren 1, 7, 672
- Spritzgussteile mit Gelenkfunktion 619
- Spritzpistole 835
- Spritzprägen 606, 672
 - mit Abquetschkanten 675, 676
 - mit der beweglichen Werkzeughälfte 674
 - mit Teilfüllung 674
 - mit vollständiger Füllung 674
- Spritzprägetechnik 679
- Spritzzyklus 93
- Sprödigkeit 342

- Sprühätzen 875
 Spülflussverfahren 629
 Spülmedium 792
 Spülstationen 793
 Spülwasservolumenströmen 629
 Sputtern 847
 Stabförmige FIT-Formteile 638
 Stabförmige Formteile 626
 Stahlband 803
 Stähle 825, 826
 Stahlguss 922
 Stahlgusslegierungen 922
 Stahlgussorten 922
 Standardheißkanalsystem 225
 Standardisierung 809
 Standardrippe 652
 Standard-Spritzgießwerkzeuge 624
 Standardtemperatur 167
 Standzeit 266, 826, 857
 Stangenanguss 51, 146, 187, 656
 Stangenanschnitt 146
 Stanzbiegewerkzeuge 886
 Starttemperatur 283
 Statistical-Process-Control 742
 Statistische Analyse 745
 Statistische Versuchsplanung 743, 745
 Stauchung 381
 – runder Formkerne 376
 Stauchungsverhalten 391
 Staudruck 2
 Stechende Injektoren 635
 Stechende Injektorkonzepte 635
 Stechender Werkzeuginjektor 629
 Stechendes Injektorsystem 636
 Stechende Systeme 635
 Steckersysteme 460
 Stege 534
 Steifigkeit 4, 23, 43
 – eines Werkzeugs 363
 Steigrohr 331
 Steilgewindespindel 526, 528
 Stereolithographie 885, 886
 Stereolithographieharz 919
 Stereolithographie (SL) 889
 Stereolithographie-Verfahren 906
 Sternverteiler 655
 Steuerkurven 543
 Stiftauswerfer 510
 Stifte 680
 Stillstandszeiten 746
 Stillstandzeiten 248
 Stirnfräsen 861
 Stirnradgetriebe 528
 Stokesche Haftung 161
 Störanfälligkeit 210
 Störungen 743
 Strahlen 788
 Strahlgeräte 789
 Strahlgüter 790
 Strahlkabinen 790
 Strahl läppen 867
 Strahlung 749
 Strahlungsemission 749
 Strahlungsheizungen 352
 Strahlungskonstante 280
 Strangablegeverfahren 679
 Strömungsgeschwindigkeitsfeld 159
 Strukturanalyse 405
 Strukturhöhen 694
 Strukturierte Kavitätsoberflächen 669
 Strukturierte Oberflächen 40
 Stückzahl 678, 905, 922
 Stufenplatte 24
 Stützleisten 395
 Sublimationsabtragen 883
 Suspensionen 879
 Symmetrische Abkühlung 271
- T**
 Taktzeiten 677
 Tandemwendetechnik 603
 Tandemwerkzeuge 599

- Tangentiale Verarbeitungsschwindigkeit 72
Tauchhärten 875
Tauchbuchsen 217
Tauchdüse 217, 218, 225
Tauchkanten 677, 693
Tauchkantenspiel 676
Tauchkantenwerkzeug 663, 674, 676, 685
Technologische Prüfverfahren 181
Teilfüllung 628, 748
Teilkristalline Kunststoffe 21
Teilkristalline Materialien 74
Teilkristalline Thermoplaste 108, 473
Teleskoprohre 585
Teller auswerfer 501, 513
Temperatur 225, 660
Temperatureinflüsse 743
Temperaturerhöhung 294
Temperaturfestes Positivmodell 918
Temperaturfühler 217, 232, 347, 352, 353
Temperaturhomogenität 314
Temperaturleitfähigkeit 155, 267, 269, 286
Temperaturleitzahl 269
Temperaturmessungen 723
Temperaturmitteldifferenz 294, 302
Temperaturprobleme an unzureichend temperierten Durchbrüchen 754
Temperaturprofil 77, 205
Temperaturregelkreise 232
Temperaturregelung 231
Temperatursensoren 348, 723, 734
Temperaturverläufe 317
Temperaturverschiebungsfaktors 167
Temperaturverteilung 205, 230, 267, 314, 748
Temperierelementtyp 297
Temperiergeräte 345, 355
Temperiergeräteleistung 290, 303
Temperierimpulsdauer 349
Temperierkanalabstände 288, 307
Temperierkanalanordnung 300
Temperierkanaldurchmesser 294, 307
Temperierkanäle 299
Temperierkanalnetze 294
Temperierkanalwandtemperatur 300
Temperierkreislauf 302
Temperierleistung 278, 291
Temperiermedium 756
Temperiermittel 280
Temperiermitteldurchsatz 288, 294, 302, 303
Temperiermitteltemperatur 282, 288, 346
Temperiermittelversorgung 794
Temperiermittelvolumenstrom 295
Temperieröle 298
Temperierprobleme an unzureichend isolierten Heißkanaldüsen 755
Temperiersystem 121, 122, 329, 922
Temperiersystemleistung 282
Temperierte Angussbuchse 240
Temperierung 93, 265, 704
– beim Schaumspritzgießen 659
Temperierzeit 266
Teniferbehandlung 841
Textilhinterspritztechnik 680
Textilien 679
Textilmelttechnik 680
Texturierte Oberflächen 669
T-förmige Nuten 535
Thermische Analyse 750
Thermische Auslegung von Schäumwerkzeugen 660
Thermische Behandlungsverfahren 839
Thermische Dehnung 71
Thermische Formteilauslegung 317
Thermischer Abtrag 881
Thermisches Gleichgewicht 313
Thermische Simulation 759
Thermische Strahlung 749

- Thermische Verfahren 849
 Thermische Verluste 311
 Thermochemische Verfahren 839, 849
 Thermodynamisches Stoffverhalten 74
 Thermoelement 228, 344
 Thermoelementepaarung 735
 Thermografie 749
 Thermografiekameras 748, 752
 Thermografische Messungen 750
 Thermogramme 750
 Thermokamera 749
 Thermoplaste 3, 270, 278, 604, 617, 618, 893
 Thermoplastische Umhüllung 894
 Thermoplast-Schaumspritzgießen (TSG) 646, 668
 Thermoplastverarbeitung 678
 Thermoschockbeständigkeit 923
 Thixotropes Oberflächenharz 917
 Thixotropie 162
Thornagel 403
 TICONA 920
 Tieflochbohrmaschinen 860, 861
 Tieflochbohrungen 813, 861
 Tiefziehwerkzeuge 831
 TIG-Tool-Pulser(TTP)-Modus 803
 TIG/WIG- Schutzgasschweißen (Tungsten/Wolfram-Inert-Gas) 803
 Tintenstrahldruckvorrichtung 894
 Titan 227
 Toleranzangaben 44
 Toleranzausgleichsrippen 45
 Toleranzen 45, 83, 495
 Toleranzgrenze 416
 Topfbefüllung 606
 Topfführung 439
 Torpedos 229
 Torsionssteifigkeit 37
 Toruswerkzeuge 862
 „Tote Ecken“ 794
 Totgebiet 667
 Totwassergebiet 238
 Touchierflächen 866
 Tragbilder 425
 Trägerfolie 681
 Tragkonsolen 465
 Transferkammer 238, 604
 Transfer-Molding 488
 Transfer Molding-Verfahren 604
 Transfertechnik 615, 616
 Transfertopf 605
 Transfertopfbefüllung 608
 Transmissionsanteile 736
 Transportmittel 464, 786
 Transportwagen 464
 Transportwalzen 419
 Treibfluid 665
 Treibmittel 658, 659, 662
 Trennblech 331
 Trennebene 4, 96, 247, 325, 368, 799
 Trennfuge 250, 543
 Trennmittleinsatz 471
 Trial- and Error-Verfahren 489
 Trockeneis (CO₂ Granulate) 790
 Trockensprühstrahlen 789
 Trockenzeit 907
 Trocknung 750
 Trommelmagazine 450
 Trumaform LF 130 897
 Tunnelanguss 51, 112, 148, 195, 512, 656, 798
 Turbulente Strömung 288, 297
 Twin-Shot-Verfahren 622
- U**
- Übergabeheizkanal 601
 Übergabekonsolen 454
 Überlagerungsverfahren 370
 Überlappungsanguss 188
 Überlappungsanschnitt 188
 Überlaufkanal 256
 Überlauf-/Nebenkavitäten 625

- Übermaß 399
- Überprüfung von Spritzgießwerkzeugen
 - im Betrieb 747
- Übersetzungsverhältnis 529
- Überspritzen 248, 381, 401
- Ultraschall 788
- Ultraschallanlagen 789
- Ultraschalltomografie 734
- Umbug 680, 691
- Umbugbereich 680
- Umbuggestaltung 691
- Umbugtechnik 680
- Umformungsstrukturen 922
- Umformwerkzeuge 835
- Umgebung 280
- Umgebungstemperatur 265, 282
- Umhüllte Stabelektroden 803
- Umlenkstücke 220, 227
- Umlenkung 227, 234, 238, 640
- Umschaltmarkierungen 628
- Umsetzen 617
- Umsetzende Verfahren 614
- Umsetzwerkzeuge 616
- Umspritzte Kunststoffteile 49
- Umspritzte Metallteile 49
- Unsymmetrische Abkühlung 77, 315
- Unterdruck 486
- Unterverteiler 235
- Untervolumetrische Formfüllung 700
- Untervolumetrische Kavitätäsvorfüllung 628
- Urformverfahren 488, 905
- Urmodelle 905
- UV-Bogenoffset-Verfahren 680
- UV-Laser 889

- V**
- Vakuum 254, 505, 680, 689
- Vakuumanlage 258
- Vakuumbildung 501, 502
- Vakuumeinheit 696
- Vakuumgießen 917
- Vakuumguss 835
- Vakuumverdampfen 847
- Variotherme Beheizung 350
- Variothermeinheit 696
- Variotherme Temperierung 350
- Variotherme Werkzeugtemperierung 350
- Variothermtemperierung 695
- Variotherm-Verfahren 661, 662
- VDI-Richtlinie 5600 744
- VDMA 461
- Verarbeitungsfehler 765
- Verarbeitungshinweise 766
- Verarbeitungsparameter 407
- Verarbeitungsschwindung 10, 11, 71, 72
- Verarbeitungstemperaturbandbreite 292
- Verbindung Bauelemente 58
- Verbrennungen 156, 247, 255
- Verbundfestigkeiten 614
- Verbund-Spritzgießen 619
- Verdampferzone 334
- Verdampfungsenthalpie 330
- Verdrängungsvolumen 629
- Verdrehschutz 525
- Verdüsen 634, 636
- Verfahrensparameter 767
- Verfahrensschritte beim Spritzprägen 673
- Verformbarkeit 45
- Verformung 429
 - der Schließbarkeit 365, 367
 - des Werkzeugs 367
 - -analyse 364
 - -sberechnung 374, 413
 - -skräfte 439
 - -srechnungen 387
 - -ssimulation 490
 - -sverhalten 367, 425
 - des Werkzeugs 363
- Vergasbares Modell 906
- Vergütungsverfahren 849

- Verhältnis Kernlänge zu Kerndurchmesser 192
- Verklebmen 363, 535
- Verklipsen 619
- Verkrustungen 296
- Verlustbeiwert 296
- Verlustfaktor 295
- Verlustwärme 310
- Verlustwärmeströme 310
- Vernetzende Elastomere 699
- Vernetzende Formmassen 4, 156, 233, 283
- Vernetzende Werkstoffe 309
- Vernetzung 4, 6, 237, 238, 265, 283, 702
- Vernetzungsgeschwindigkeiten 699
- Vernetzungsgrad 277, 283, 315
- Vernetzungsreaktion 157, 283, 606
- Vernetzungsreaktions-Kinetik 284
- Vernickeln 834, 843
- Verpackungssperrigkeit *V* 125
- Verriegelungen 381
- Verriegelungselemente 369
- Verrippungen 25, 39
- Verrippungsarten 36
- Versatz
 - von Einlegeteilen 419
 - von Kernen 407
- Verschleiß 677
- Verschleißanfälligkeit 689
- Verschleißarten 796
- Verschleißerscheinungen 439, 796
- Verschleißfeste Beschichtung 154
- Verschleißfestigkeit 494
- Verschlussmechanismus 631
- Verschmutzte Kühlkanäle 756
- Verschmutzung 253
- Verschmutzungsgrad 295
- Verschweißvorgang 653
- Versiegelung 676
- Versorgungsleistungen 446
- Verstärkte Ränder 61
- Verstärkungsmuffe 64
- Versteifungsrippen 79, 626
- Verstopfte Kühlbohrungen 756
- Verstopfungen 205
- Verstrammung 178
- Verstreckgrade 683
- Versuchsplanung 745
- Verteiler 229
- Verteilerbalken 220, 225, 228
- Verteilerblöcke 208, 219, 220, 234
- Verteilerkanäle 134, 142, 154, 189, 234
- Verteilersystem 135
- Vertikale Drehtechniken 615
- Verunreinigungen 205
- Verweilzeit 211, 216, 238, 283
- Verwendung von Fließhilfen 66
- Verwerfungen 649, 800
- Verzug 20, 24, 25, 33, 71, 77, 151, 191, 283, 315, 342, 343, 350, 641, 648
- Verzugserscheinungen 23, 425
- Verzweigung 238
- Vielfachpunktanschnitt 152
- Vielfachwerkzeuge 573
- Vielnestformen 156, 212, 220
- Vielnestwerkzeug 219
- Vieretagenwerkzeug 587
- Virtual Prototyping 403, 406
- Viskoelastizität 161
- Viskosimeterergebnisse 176
- Viskosität 4, 6, 162, 177, 189, 474, 738
- Viskositätsexponent 165
- Viskositätsfunktion 181
- Viskositätskurve 163, 167
- Viskositätsschwankungen 743
- Viskositätsverhältnis 622
- Viskositätsverlauf 5
- Viskositätswerte 177
- Vollformgießen 911
- Vollformguss 913
- Voll- und Gemischkokillen 915
- Volumenänderung 5

- Volumenausdehnung 365
Volumenbalancierung 212
Volumendilatation 700
Volumenkontraktion 20, 21, 72, 75, 77, 79, 142, 187, 674
Volumenschwindung 73, 75, 479
Volumenstrom 257, 288, 290, 584, 631
Volumenverminderung 365
Volumetrische Ausformung 628
Vorbearbeitete Werkzeugplatten 813
Vorbereitungselektrolyten 804
Vorbeschichtung 847
Voreilleffekt 623
Vorformlinge 590, 681
Vorformung 684
Vorgelege 258
Vorgesäumte Polystyrolschaum-Granulatkörner 913
Vorheizen der Einlegeteile 56
Vorheizstation 465
Vorkammer 200
Vorkammerbutzen 202
Vorkammer-Punktanguss 200
Vorlauftemperatur 344
Vorspritzlinge 614, 618
Vorzentrierung 453
Vulkameterergebnisse 176
Vulkanisationsgeschwindigkeit 177, 178
Vulkanisationstemperatur 607
Vulkanisationsvorgang 702
Vulkanisationszeit 607
- W**
- Wachs 157, 911
Wachsmodelle 906
Wachstum von Gasblasen 665
Walzenkörper 419
Wanddicke 23, 52, 53, 648, 665
– des Kunststoffmantels 56
Wanddickenschwindung 379
Wanddickensprünge 648, 650, 667, 765
Wanddickenübergänge 25
Wanddickenunterschiede 23
Wanddickenveränderungen 79
Wanddickenverteilung 658
Wandschubspannung 170, 171
Wandtemperatur 270, 271
Wärmeabfuhr 78, 688
Wärmeausdehnung 606
Wärmeaustausch 265, 266
Wärmebehandlung 825, 826
Wärmebehandlungsverfahren 839
Wärmebehandlungsvorschriften 839
Wärmebilanz 309, 310
Wärmebildkamera 752
Wärmedämmende Beschichtung 662, 669
Wärmedämmplatten 457
Wärmedämmschichten 669
Wärmedehnung 74, 426
Wärmeeinflusszone 801
Wärmehaushalt 309
Warmeinsenken 923
Wärmeisolation 205
Wärmeisolierplatte 430
Wärmekapazität 313
Wärmeleitdüsen 229
Wärmeleitelemente 225
Wärmeleitfähigkeit 267, 300, 331, 834
Wärmeleitrohre 220, 345
Wärmeleitung 266, 301, 430
Wärmeleitungsrohre 345
Wärmeleitwiderstand (WLW) 311
Wärmeleitzement 227, 230
Wärmequelle 291
Wärmerohre 225, 334
Wärmesenke 291
Wärmestrom 278, 279, 286, 300, 305, 329, 343
– an kritischen Stellen 315
– -bilanz 279, 281, 288, 290
– -dichte 271, 292, 300

- -differenz 289
- -verhältnis 281
- Wärmeträgeröl 298, 346
- Wärmetransportarten 280
- Wärmetrennung 3, 235
- Wärmeübergangskoeffizient 280, 296, 297, 307, 312, 665
- Wärmeübergangswiderstand 334
- Wärmeübertragungskoeffizienten 290
- Wärmeverluste 313
- Wärmeverteilung 834
- Warmwasserstrom 349
- Wartung 357, 637, 781
 - der Temperiersysteme 793
 - des Angussystems 795
 - des Heiz- und Regelsystems 794
 - von Gleitführungen 795
- Wartungsarbeiten 782, 787
- Wartungskosten 210
- Wasseraufbereitung 794
- Wasserbehandlung 757
- Wasserdruck 632, 634
- Wasserimpulse 294
- Wasserinjektionstechnik (WIT) 620, 626, 640
- Wasserrückführung 633, 634
- Wasserrückkühlsysteme 346
- Wasser-Temperierung 346
- Wasservolumenstrom 636
- Wattdichte 229, 231
- W-Cu-Sinterwerkstoffe 331
- Wechselkerne 525
- Wechselrahmen 450
- Wechseltische 445
- Wechselvorrichtungen 446
- Wegregelung 608
- Welligkeit 302
- Wendeeinheit 590
- Wendel 334
- Wendelrohrpatronen 229
- Wendel-Temperierung 335
- Wendeschnidplatten 862
- Werkstoffauswahl 66, 826
- Werkstoffeigenschaften 407
- Werkstoffe und Beschichtungen für den Werkzeugbau 825
- Werkstoffpalette 893
- Werkstückelektrode 868
- Werkzeug 3, 608
- Werkzeugabmessung 106
- Werkzeuganschlag 453
- Werkzeugatmung 368, 701
- Werkzeugaufspannplatte 378, 430
- Werkzeugaußentemperatur 281
- Werkzeugbegleitkarte 785
- Werkzeugbelastung 248
- Werkzeugbezeichnungen 96
- Werkzeugdaten 784
- Werkzeugeinsätze 429
- Werkzeugentlüftung 197, 247
- Werkzeugfederdiagramm 369
- Werkzeugfüllung 248
- Werkzeugfüllvorgang 51, 133, 250, 439
- Werkzeuggestaltung 638
- Werkzeuggestell 119
- Werkzeuggröße 104
- Werkzeuggrundplatte 378
- Werkzeugheizung 309, 661
- Werkzeughohlraum 133
- Werkzeuginjektoren 630
- Werkzeuginnendruck 5, 369, 487, 668, 743
- Werkzeuginnendruckmessung 723
- Werkzeuginnendrucksensoren 724, 725, 737
- Werkzeuginnendruckverlauf 738, 740, 741
- Werkzeugkalkulation 115, 116
- Werkzeugkarte 796
- Werkzeugkavität 71, 119
- Werkzeugkern 60
- Werkzeugkerndurchbiegung 421

- Werkzeugkonstruktion 116, 765
Werkzeugkosten 47, 115, 233
Werkzeuflager 786
Werkzeuglebenslauf 784, 785
Werkzeugmaß 71
Werkzeugmaterialien beim
 Schaumspritzgießen 662
Werkzeugnormalien 809
Werkzeugoberfläche 753, 799
Werkzeugoberflächentemperatur 288,
 659
Werkzeugöffnungsprobleme 363
Werkzeugplatte 378
Werkzeugpreis 584
Werkzeugreparaturen mit „Plastik-Stahl“
 805
Werkzeugschnellwechselsysteme 445
Werkzeugsteifigkeit 493
Werkzeugtechnik 687, 701
Werkzeugtemperatur 283, 286, 744
Werkzeugtemperaturregelung 315
Werkzeugtemperierung 195, 677
Werkzeugträgerplatten 429
Werkzeugtypen 95, 97, 98
Werkzeugverformung 363, 379
Werkzeugverschleiß 737
Werkzeugwanddicke 379
Werkzeugwandtemperatur 288, 290,
 325, 751
Werkzeugwechsel 445, 786, 810, 812
Werkzeugwechselfahrzeuge 787
Werkzeugwechselsysteme 445
Werkzeugwechseltisch 454, 465
Werkzeugwechselwagen 454, 465
Werkzeugzuhaltkraft 248
Widerstandpressschweißens 803
Widerstandsheizung 352
Wiedergabegenauigkeit 922
Williams, Landel und Ferry 167
Winkelverzug 26, 32
Wirtschaftlichkeit 208, 583
Wischen 788
WLF-Gleichung 167
Würfeltechnik 590, 616
Würstchen-Bildung 148
- Z**
Zähigkeit 150, 826, 837
Zahl der Trennebenen 112
Zahnstangen 526, 540, 588
Zahnstangenantrieb 526
Zahnstangensteuerung 588
Zeiten 744
Zeitstandbeanspruchung 55
Zentrale Wasserversorgung 346
Zentrierelementen 810
Zentrierflansch 430, 455, 797
Zentrierhülsen 431
Zentrierstift 448
Zentrierung 423, 429, 430
Zentrierzapfen 432, 441
Zentrierzylinder 455
Zerspanbarkeit 832
Zerspanung
 – mit definierter Schneide 860
 – mit undefinierter Schneide 866
Zerspanungsaufwand 904
Ziehende Injektoren 635
Ziehende Nadeln 635
Ziehender Radialinjektor 634
Zink 831, 922
Zinn-Wismut-Blei-Cadmium-Indium 835
Zinn-Wismut-Legierungen 835, 922,
 923
Zonale Polierverfahren 879
Zuganker 513, 514, 516
Zugankerbetätigung 514
Zugewachsener Temperierkanal 758
Zugfestigkeit 150
Zugkräfte 464
Zuglaschen 543
Zugspannung 56, 476

- Zuhaltekraft 104, 105, 110, 210, 364, 368, 369, 380, 543, 641
- Zulässige Dehnung 519
- Zulässige Hinterschneidung 519
- Zulässige Hinterschnitthöhe 520
- Zulässige Spannungen 364
- Zulässige Temperaturdifferenz 294
- Zulässige Verformungen 364
- Zusammenflussnähte 625
- Zusammenklappende Kerne 523
- Zusammenlegbare Kerne 41
- Zustandsgleichung 159
- Zustandsverlauf 74, 493
- Zwangsentformte Gewinde 64
- Zwangsentformung 43
- Zwangsspannungen 426
- Zwei-Etagenwerkzeug 585
- Zweikomponenten-Familienwerkzeuge 584
- Zweikomponenten-Spritzgießen 614
- Zweiwegeauswerfer 512
- Zwischenglühen (Rekristallisationsglühen) 924
- Zyklusablauf 2
- Zykluszeit 20, 93, 201, 210, 224, 231, 237, 248, 349
- Zykluszeitänderung 282
- Zykluszeiten 211, 737
- Zykluszeitreduktion 649
- Zykluszeitreduzierungen 627
- Zykluszeitverkürzung 349
- Zylindrische Hülsen 476, 480