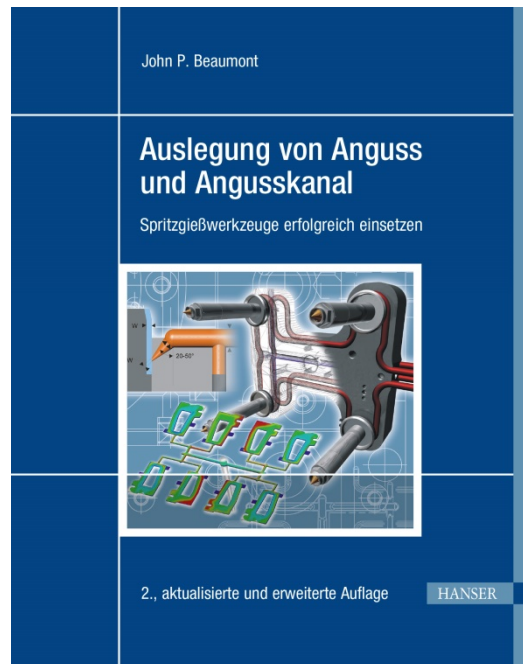


HANSER



Leseprobe

zu

„Auslegung von Anguss und Angusskanal“

von John P. Beaumont

Print-ISBN: 978-3-446-46289-2

E-Book ISBN: 978-3-446-46425-4

Weitere Informationen und Bestellungen unter
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-46289-2>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

Inhalt

Vorwort	XV
Der Autor	XIX
1 Überblick über Angussysteme und Anschnittpositionierung	1
1.1 Angussysteme in der primären Trennebene	1
1.2 Angussysteme in einer parallelen Trennebene	2
1.2.1 Kaltkanalsysteme	2
1.2.2 Heißkanalsysteme	4
1.3 Kombinationen aus Heiß- und Kaltkanalsystemen	5
1.4 Gestaltung des Anschnitts	6
2 Rheologie und Fließverhalten im Spritzgießwerkzeug	7
2.1 Vergleich von laminarer und turbulenter Strömung	8
2.2 Quellströmung	10
2.3 Einflussfaktoren der Viskosität	10
2.3.1 Viskositätsmodelle	12
2.3.2 Nicht-newtonsche Fluide	14
2.3.3 Temperatur	17
2.3.4 Druck	18
2.4 Kompressibilität der Schmelze	18
2.5 Bestimmung der Fließeigenschaften der Schmelze	19
2.5.1 Schmelzindex (MFI)	19
2.5.2 Kapillar-Rheometer	20
2.5.3 Düsenrheometer	26
2.6 Fließverhalten einer Schmelze im Werkzeug	27
2.6.1 Werkzeuge mit Fließspirale	27
2.6.2 Spritzgießsimulation	29
2.6.3 Moldometer	31

3	Einfluss des Füll- und Verdichtungsvorgangs auf das Material und das Formteil	35
3.1	Einfluss der Verarbeitung auf das Fließverhalten des Materials	35
3.1.1	Thermisches Gleichgewicht der Schmelze – Wärmeverlust durch Wärmeleitung und Schererwärmung	35
3.1.2	Entwicklung einer erstarrten Randschicht	39
3.2	Einflussfaktoren beim Materialabbau von Kunststoffen	44
3.2.1	Übermäßige Scherbelastung	45
3.2.2	Übermäßige Temperaturbelastung	46
3.3	Einfluss der Füllgeschwindigkeit auf den Fülldruck	49
3.4	Nachdruck- oder Verdichtungsphase	51
3.4.1	Thermische Schwindung bei Abkühlen des Kunststoffs	51
3.4.2	Ausgleich der volumetrischen Schwindung durch Kompensationsströmung	52
3.4.3	Druckverteilung während der Verdichtungsphase	53
3.4.4	Einfrieren des Anschnitts	54
3.5	Auswirkungen der Schmelzeströmung auf das Material und das Formteil ..	55
3.5.1	Schwindung	55
3.5.1.1	Volumenschwindung	55
3.5.1.2	Schwindung durch Orientierung	58
3.5.2	Entwicklung von Eigenspannungen und Verzug	62
3.5.2.1	Verzug und Eigenspannungen durch ungleichmäßige Schwindung der Bauteilseiten	62
3.5.2.2	Verzug und Eigenspannungen durch ungleichmäßige Schwindung in bestimmten Bereichen	63
3.5.2.3	Verzug und Eigenspannungen durch ungleichmäßige Schwindung aufgrund von Orientierung	64
3.5.3	Einfluss der Orientierung auf die physikalischen Eigenschaften ...	65
3.6	Tempern von Formteilen	65
3.7	Zusammenfassung	66
4	Auswahl des Anspritzpunkts und Spritzgießstrategien	69
4.1	Überlegungen zur Auswahl des Anspritzpunkts	69
4.2	Gestaltungs- und Verfahrensrichtlinien für das Spritzgießen	71
4.2.1	Bauteilgestaltung mit gleichbleibender Wanddicke	71
4.2.2	Anwendung allgemeiner Richtlinien für die Gestaltung von Spritzgießteilen	74
4.2.3	Vermeidung der Schmelzeströmung aus dünnen Bereichen in dicke Bereiche	75

4.2.4	Aufbau eines einfachen Strömungsmusters in der Kavität	76
4.2.5	Vermeidung von Lufteinschlüssen	81
4.2.6	Filmscharniere	83
4.2.7	Balancierte Füllung des Werkzeugs	86
4.2.7.1	Lage des Anschnitts innerhalb einer Kavität	86
4.2.7.2	Mehrfachwerkzeuge	91
4.2.8	Gleichmäßige Werkzeug- und Schmelzetemperaturen	94
4.2.9	Vermeidung von Fließnähten	95
4.2.10	Vermeidung von Fließverzögerung	97
4.2.11	Begrenzung der Reibungswärme der Schmelze	98
4.2.12	Minimierung des Volumens der Angusskanäle bei Kaltkanalsystemen	99
4.2.13	Vermeidung übermäßiger Scherung	100
4.2.14	Vermeidung übermäßiger Scherspannungen, Erzeugung gleichmäßiger Scherspannungen	102
5	Systeme zur Verteilung der Schmelze im Werkzeug	105
5.1	Grundlagen für die Gestaltung von Fließkanälen	105
5.2	Übersicht des Schmelzeverteilungssystems	106
5.2.1	Maschinendüse	107
5.2.1.1	Filterdüsen	108
5.2.1.2	Statische Mischer	109
5.2.2	Angusskegel	109
5.2.3	Angussverteiler	110
5.2.4	Anschnitt	110
5.3	Schmelzeströmung im Schmelzeverteilungssystem	110
5.3.1	Aufbereitung der Schmelze in der Spritzgießmaschine	110
5.3.1.1	Druckaufbau durch die Spritzgießmaschine	111
5.3.1.2	Strömung durch ein Angussystem	113
5.3.2	Einfluss der Temperatur auf die Schmelzeströmung	114
5.3.2.1	Temperatur der Schmelze	114
5.3.2.2	Werkzeugtemperatur	116
5.3.3	Vergleich von Kalt- und Heißkanalsystemen	116
5.3.4	Druckverlust innerhalb des Schmelzeverteilungssystems (Düse, Angusskegel, Angusskanal, Anschnitt und Kavität)	116
5.4	Simulation des Füllvorgangs	117
5.5	Querschnitt des Angussystems	119
5.5.1	Effizienz des Angusskanals	119
5.5.2	Druckverlauf im Angussystem	120
5.5.2.1	Vergleich der Strömung in Heiß- und Kaltkanalsystemen	124

5.5.3	Einfluss des Angussystems auf die Zykluszeit	125
5.5.3.1	Kühlzeit des Kaltkanalsystems und des Angusskegels ...	125
5.5.3.2	Heißkanalsysteme	125
5.5.4	Gegenüberstellung von Angussystemen mit konstantem und abgestuftem Durchmesser	125
5.6	Gestaltung des Angussystems für scher- und temperaturempfindliche Materialien	128
5.7	Auslegung des Angussystems	129
5.7.1	Geometrisch balancierte Angussysteme	129
5.7.2	Geometrisch nicht balancierte Angussysteme	132
5.7.3	Vergleich des Angussystems mit Reihenanordnung mit dem geometrisch balancierten Angussystem	133
5.7.3.1	Fließwegverhältnis	135
5.7.3.2	Abweichungen der Schmelzeigenschaften in unbalancierten Werkzeugen	136
5.7.3.3	Künstliche Balancierung von Angussystemen	136
5.7.3.4	Reduziert ein künstlich balanciertes Angussystem das Angussvolumen?	139
5.7.4	Familienwerkzeuge	143
6	Ungleichmäßige Schmelzeigenschaften in Mehrfachwerkzeugen	145
6.1	Ursachen für ungleichmäßige Füllung in Mehrkavitätenwerkzeugen	146
6.1.1	Formteilabweichungen, die durch das Angussystem entstehen ...	146
6.1.2	Formteilabweichungen, die nicht durch die Auslegung des Angussystems verursacht werden	149
6.2	Auswirkungen der Ungleichgewichte	153
6.2.1	Künstliche Balancierung von Angussystemen	159
6.3	Scherinduzierte Abweichungen durch geometrisch balancierte Angussysteme	160
6.3.1	Entstehung und Aufteilung abweichender Schmelzeigenschaften in einem Angussystem	161
6.3.2	Formteilabweichungen durch ungleichmäßige Kavitätenfüllung aufgrund der Aufteilung von Schmelzeschichten in verzweigten Angussystemen	163
6.3.3	Scherinduzierte Ungleichgewichte in der Schmelze in Etagenwerkzeugen	168
6.3.4	Entstehung von Abweichungen innerhalb einer Kavität und Einfluss auf Eigenspannungen und Verzug	169
6.3.4.1	Verzug	175
6.3.4.2	Kernversatz	177

6.3.4.3	Auswirkungen auf konzentrische Teile	179
6.3.5	Alternative Theorien zur Ursache der Ungleichgewichte bei der Formfüllung	180
6.3.5.1	Ungleichmäßige Werkzeugkühlung	181
6.3.5.2	Werkzeughdurchbiegung	181
6.3.5.3	Auswirkungen von Ecken an Fließkanalverzweigungen ..	182
6.3.5.4	Schmelzedruck als Ursache ungleichmäßiger Füllung	185
6.4	Auslegung von Angussystemen	185
6.4.1	Bestimmung verschiedener Fließgruppen in geometrisch balancierten Angussystemen	185
6.4.2	Scheinbar geometrisch balancierte Angussysteme	188
6.5	Auswirkungen scherinduzierter Abweichungen auf zweistufige Spritzgießverfahren	189
6.5.1	Gas-Innendruck-Spritzgießen	189
6.5.2	Zwei-Komponenten-Spritzgießen	192
6.5.3	Spritzgießen von geschäumten Kunststoffen	194
6.6	Kosten durch ungleichmäßige Schmelzeigenschaften	195
7	Erfolgreiches Spritzgießen trotz scherinduzierter Abweichungen der Schmelzeigenschaften	199
7.1	Statische Mischer	200
7.2	Künstliche Balancierung	202
7.2.1	Gleichmäßige Füllung durch Anpassung der Größen von Fließkanälen und Anschnitten	202
7.2.2	Gleichmäßige Füllung durch Anpassung der Temperaturen	203
7.3	Schmelze-Rotations-Technik	204
7.3.1	Schmelze-Rotations-Technik in Heißkanalwerkzeugen	212
7.3.2	Schmelze-Rotations-Technik in Kaltkanalwerkzeugen	214
7.3.3	Schmelze-Rotations-Technik bei Ungleichgewichten innerhalb einer Kavität	214
7.3.4	Mehrachsiges Symmetrien in der Schmelze	216
7.3.5	Verstellbares rheologisches Kontrollsystem (In-Mold Adjustable Rheological Control, iMARC)	218
7.3.5.1	3D-Spritzgießen	219
7.4	Schmelze-Rotations-Technik zur Regelung zweistufiger Spritzgießverfahren	224
7.5	Steuerung des Verzugs durch Schmelze-Rotations-Technik	226
7.5.1	Entstehung des Verzugspotentials	229
7.5.2	Kontrollierter Verzug durch Schmelze-Rotations-Technik	231
7.5.3	Neue Anwendungen für das 3D-Molding	234

7.6	MeltFlipper Schmelze-Rotations-Technik	235
7.6.1	Wichtige Patentinformationen zum Thema MeltFlipper	235
7.6.2	Schmelze-Rotation in Kaltkanalwerkzeugen	236
7.6.3	Schmelze-Rotation in Heißkanalwerkzeugen	238
7.6.4	Mehrachsiges Schmelzesymmetrie	239
7.6.5	Im Werkzeug einstellbare rheologische Regulierung (iMARC™) ...	241
8	Kaltkanalwerkzeuge	245
8.1	Angusskegel	247
8.1.1	Kalter Angusskegel	247
8.1.2	Heißer Angusskegel	253
8.2	Kaltkanalsysteme	254
8.2.1	Wichtige Überlegungen zur Bearbeitung des Kaltkanalsystems ...	256
8.2.2	Dimensionierung von Fließkanälen	257
8.2.3	Entlüftung	258
8.2.4	Auswerfen des Angussystems	258
8.2.4.1	Angusszieher	258
8.2.4.2	Sekundäre Angusskegel	259
8.2.4.3	Angusskanäle	260
8.2.5	Pfropfenfänger	261
8.3	Angussysteme für Dreiplattenwerkzeuge mit Kaltkanalsystem	262
8.4	Anschnittgestaltung	267
8.4.1	Stangenanguss	268
8.4.2	Seitenanschnitt	269
8.4.3	Bandanschnitt	270
8.4.4	Filmanschnitt	272
8.4.5	Ringanschnitt	273
8.4.6	Schirmanschnitt	274
8.4.7	Tunnelanschnitt	276
8.4.8	Gebogener Tunnelanschnitt	278
8.4.9	Innen liegender Tunnelanschnitt	280
8.4.10	Punktanschnitt	280
8.4.11	Meißelförmiger Anschnitt	281
8.4.12	Anschnitt mit Überlauf	281
8.5	Einfluss des Anschnittdurchmessers bei Mehrfachwerkzeugen	282
8.5.1	Untersuchung 1	282
8.5.2	Untersuchung 2	283
8.5.3	Messtoleranzen	286

9	Heißkanalwerkzeuge	291
9.1	Übersicht	291
9.1.1	Vor- und Nachteile von Heißkanalsystemen	292
9.1.1.1	Vorteile von Heißkanalsystemen	292
9.1.1.2	Nachteile von Heißkanalsystemen	294
9.1.1.3	Zusammenfassung der Merkmale verschiedener Angusssysteme	296
9.2	Vergleich der Heißkanalsysteme für Mehrfachwerkzeuge	297
9.2.1	Außenbeheizung von Verteiler und Düsen	298
9.2.2	Extern beheizter Verteiler mit innenbeheizter Düse	299
9.2.3	Innenbeheizung von Verteiler und Düse	301
9.2.4	Isoliertes Verteiler- und Düsensystem	302
9.3	Etagenwerkzeuge	303
10	Gestaltung des Fließkanals bei Heißkanalsystemen	307
10.1	Gestaltungsregeln für balanciertes Spritzgießen	308
10.2	Querschnittsform	310
10.3	Ecken	311
10.3.1	Gebohrte Fließkanäle	311
10.3.2	Einarbeitung von Fließkanälen in zwei Platten	313
10.4	Einfluss des Durchmessers	313
10.4.1	Druck	313
10.4.2	Regelung des Einspritzvorgangs	316
10.4.3	Farbwechsel	317
10.4.4	Materialwechsel	321
11	Düsen und Anschnitte für Heißkanalsysteme	323
11.1	Heißkanaldüsen	324
11.1.1	Außenbeheizte Düsen	325
11.1.2	Innenbeheizte Düsen	326
11.1.3	Wärmeleitende Düsen	327
11.2	Punktanschnitte	328
11.3	Überlegungen zur Gestaltung des Anschnitts	331
11.3.1	Einfrieren des Anschnitts	331
11.3.2	Fadenbildung und Nachtropfen	332
11.3.3	Verdichtung	332
11.3.4	Düsen spitzen für thermische Anschnitte in Heißkanalsystem	334
11.3.4.1	Offene Düsen spitzen	335
11.3.4.2	Torpedodüsen	337

11.3.5	Düsen mit mechanischem Verschluss	338
11.3.5.1	Fließeinschränkungen in Nadelverschlussdüsen	341
11.3.5.2	Sequentielle Nadelverschlussdüsen	343
11.3.5.3	Steuerung der Bewegung der Ventlnadel beim sequentiellen Spritzgießen	345
11.3.6	Anschnitte mit thermischem Verschluss	351
11.3.7	Heiße Seitenanschnitt	352
11.3.8	Düsen mit mehreren Spitzen	353
11.4	Besondere Düsenanordnungen	354
12	Thermische Auslegung von Heißkanalsystemen	357
12.1	Heizelemente	357
12.1.1	Heizwendeln	358
12.1.2	Heizbänder	359
12.1.3	Rohrheizkörper	359
12.1.4	Heizpatronen	360
12.1.5	Wärmerohr-Technik	361
12.2	Temperaturregelung	362
12.2.1	Thermoelemente	362
12.2.2	Temperaturregler	363
12.3	Leistungsbedarf	364
12.4	Thermische Isolation von Heißkanalsystemen	365
12.5	Temperaturregelung am Anschnitt	369
12.5.1	Anschnittheizung	371
12.5.2	Anschnittkühlung	371
13	Mechanische Aspekte beim Betrieb von Heißkanalsystemen	373
13.1	Montage und Leckage	373
13.1.1	Auslegung des Systems	375
13.1.2	Bearbeitung und Montage von Heißkanalsystemen	380
13.2	Verformung des Werkzeugs und der Maschine	385
13.3	Vorgehensweisen bei der Inbetriebnahme	388
13.4	Farb- und Materialwechsel	388
13.5	Anschnitte	389
13.5.1	Angussrest	390
13.5.2	Verstopfung	390
13.5.3	Verschleiß	390
13.6	Wartung	391

14	Vorgehensweise bei der Gestaltung des Angussystems – Zusammenfassung	393
14.1	Anzahl der Anschnitte	393
14.2	Position des Anschnitts am Bauteil	393
14.2.1	Ästhetik	393
14.2.2	Einfluss auf Schwindung, Verzug und Eigenspannungen	394
14.2.2.1	Orientierung	394
14.2.2.2	Volumenschwindung in einzelnen Bauteilbereichen	394
14.2.2.3	Ungleichmäßige Füllung	395
14.2.3	Strukturelle Aspekte	395
14.2.3.1	Spannungen im Anschnittbereich	395
14.2.3.2	Fließorientierung	396
14.2.4	Anspritzen an schwer zugänglichen Stellen	396
14.3	Anordnung der Kavität	396
14.4	Material	397
14.5	Freistrahlbildung	397
14.6	Dicke und dünne Bereiche des Spritzgießteils	397
14.6.1	Volumenschwindung	397
14.6.2	Fließverzögerung	398
14.7	Anzahl der Kavitäten	398
14.8	Produktionszahlen	398
14.9	Präzisionsspritzgießen	398
14.10	Farbwechsel	399
14.11	Materialwechsel	399
14.12	Einmahlen von Angüssen	400
14.13	Dicke der Spritzgießteile	400
14.13.1	Dünnwandige Spritzgießteile	400
14.13.2	Dickwandige Spritzgießteile	400
14.14	Größe des Spritzgießteils	401
14.15	Erfahrung der Mitarbeiter	401
14.16	Handhabung nach dem Spritzgießen	401
14.17	Spannungsprobleme im Bauteil und im Anschnitt	402
14.18	Kombination von Heißkanal- und Kaltkanalsystemen	402
14.19	Zweistufige Spritzgießverfahren	402

15 Fehlerbehebung	403
15.1 Diagnose der Strömungsgruppen	403
15.1.1 Scherinduzierte Ungleichgewichte in geometrisch balancierten Angussystemen	404
15.1.2 Abweichungen im Werkzeug	405
15.1.3 Kühlwirkung	405
15.1.4 Heißkanalsysteme	406
15.1.5 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse	406
15.1.6 Anwendung der Diagnose der Strömungsgruppen	407
15.2 Leitlinien zur Problembehandlung beim Spritzgießen	410
15.3 Prozessentwicklung beim Spritzgießen	448
15.3.1 Der Spritzgießprozess	449
15.3.1.1 Werkzeugkühlung	449
15.3.1.2 Schließeinheit – Anfangseinstellungen	451
15.3.1.3 Spritzeinheit – Anfangseinstellungen	453
15.3.1.4 Füllzeit-Scan – Bestimmung des Volumenstroms	455
15.3.1.5 Verdichtungs-Scans – Bestimmung des Verdichtungs- drucks und der Verdichtungszeit	462
15.3.1.6 Bestimmung des Schmelzepolsters, der Kühlzeit und der Zykluszeit	467
15.3.2 Prozessüberwachung und Prozessdokumentation	469
15.4 Liste amorpher und teilkristalliner Kunststoffe	474
Index	477

Vorwort

Qualitätsmanagement-Methoden wie Six Sigma legen großen Wert darauf, Grundlagen kritisch zu überprüfen, um mögliche Probleme zu identifizieren und zu eliminieren, bevor sie den Herstellungsprozess negativ beeinflussen. Bei der Werkzeuggestaltung zur Herstellung eines spritzgegossenen Kunststoffteils ist das Angussystem eine der wichtigsten und einflussreichsten Komponenten. Es zeigt sich jedoch auch, dass das Angussystem wahrscheinlich die am häufigsten unterschätzte und missverstandene Komponente des Spritzgießwerkzeugs ist. Daher sollten gerade qualitätsbewusste Kunststoffverarbeiter das Angussystem kritisch überprüfen.

Das Angussystem beginnt mit der Düse der Spritzgießmaschine und setzt seinen Weg durch das Werkzeug fort durch den Angusskegel, die Angusskanäle und den Anschnitt. Zwar befindet sich die Schmelze nur für Sekundenbruchteile in diesen Strömungskanälen. Dennoch herrschen dort extremere Bedingungen als bei fast allen anderen Kunststoffverarbeitungsverfahren. Die Schergeschwindigkeit im Anschnitt liegt häufig über $100\,000\text{ s}^{-1}$ und örtlich begrenzt können die Schmelztemperaturen in stark gescherten Schichten plötzlich um 200 °C ansteigen, mit einer Geschwindigkeit von über 1000 °C/s pro Sekunde. Die Auswirkungen dieser extremen Bedingungen auf die Schmelze sind noch nicht eindeutig geklärt. Die meisten Methoden zur Bestimmung der Werkstoffeigenschaften sind nicht einmal annähernd in der Lage, das Verhalten der Schmelze unter diesen extremen Bedingungen zu bestimmen. Die Viskosität in Abhängigkeit von der Schergeschwindigkeit wird in der Regel bei Schergeschwindigkeiten von maximale $10\,000\text{ s}^{-1}$ gemessen, DSC-Daten bei weniger als 32 °C/min und pVT -Daten bei weniger als 3 °C/min . Die Einschränkungen bei der Bestimmung der Werkstoffeigenschaften sowie Schwierigkeiten bei der Modellierung führen dazu, dass Simulationsprogramme für den Spritzgieß- und Strömungsprozess immer noch Probleme haben, die extrem inhomogenen asymmetrischen Schmelzeigenschaften genau vorherzusagen, die in einer Verzweigung eines Fließkanals entstehen. Die Herausforderung, mit diesen Bedingungen richtig umzugehen, wurde allgemein unterschätzt.

Die Einflüsse dieser extremen Schmelzebedingungen im Fließkanal werden gerade erst erforscht. Eine der wichtigsten Erkenntnisse ist, dass die Kombination aus laminarer Strömung und hoher Scherung im Randbereich des Fließkanals zu extrem inhomogenen Schmelzeigenschaften führt. Die Schmelztemperatur kann um 200 °C abweichen, die Viskositäten in der Mitte und am Rand des Strömungskanals können um den Faktor 100 auseinander liegen. Dies führt zu signifikant asymmetrischen Schmelzeigenschaften, wenn die Schmelze durch eine Verzweigung im Angussystem oder in die Kavität fließt. Die Schmelzeigenschaften, die im Fließkanal entstanden sind, verschlechtern das Füllverhalten und die mechanischen

Eigenschaften, die Schrumpfung und das Verzugsverhalten. Diese Faktoren sind in der Spritzgießindustrie kaum bekannt und ihre dramatischen Auswirkungen werden selten richtig eingeschätzt. Der Einfluss kann bei zweistufigen Injektionsverfahren wie der Gasinjektionstechnik, der Mehrkomponententechnik oder dem MuCell-Verfahren besonders deutlich auftreten.

Wie bereits erwähnt, besteht das Angussssystem aus der Düse, der Spritzgießmaschine, dem Angusskegel, den Angusskanälen und dem Anschnitt. Jede dieser Komponenten kann einen wesentlichen Einfluss sowohl auf den Prozess als auch auf das Formteil haben. Zu den beeinflussten Prozessparametern gehören das Füll- und Verdichtungsverhalten, die Einspritzgeschwindigkeit, die Schließkraft und Zykluszeit. Zu den Auswirkungen auf das Teil gehören Größe, Gewicht, mechanische Eigenschaften und Unterschiede in diesen Merkmalen zwischen Teilen, die in verschiedenen Kavitäten eines Mehrfachwerkzeugs hergestellt werden.

Obwohl das Angussssystem einen erheblichen Einfluss auf den Spritzgießprozess hat, werden seine Komponenten in der Regel mangelhaft gestaltet im Vergleich zum Zeit- und Kostenaufwand, der für andere Komponenten eines Werkzeugs oder einer Spritzgießmaschine betrieben wird. Dieses Buch schließt die Lücke, die entstanden ist, weil andere Veröffentlichungen auf dem Gebiet des Spritzgießens in der Regel nur kurz auf die Gestaltung des Angussystems und dessen Bedeutung eingehen. Insbesondere muss angesprochen werden, dass Informationen über Kaltkanäle fehlen. Über Heißkanalsysteme sind zwar recht viele Informationen verfügbar, diese sind jedoch in der Regel stark durch die Sichtweise der Unternehmen, die diese Systeme verkaufen, beeinflusst. Es gibt über 50 kommerzielle Anbieter von Heißkanalsystemen, aber kein einziges Unternehmen, das Kaltkanalsysteme anbietet. Dies führt dazu, dass Kaltkanalsysteme meistens eher als uninteressant dargestellt werden.

Als Beweis für das mangelnde Verständnis für Angussysteme kann gelten, dass die erheblichen Auswirkungen der scherinduzierten Ungleichgewichte beim Schmelzefluss durch das Angussystem nicht dokumentiert oder eindeutig geklärt waren, als ich im Jahr 1997 den ersten Zeitschriftenartikel über dieses Phänomen veröffentlichte. Zum ersten Mal wurde es offensichtlich, dass als „natürlich balanciert“ bezeichnete Angussysteme erhebliche Ungleichgewichte verursachen. Es stellte sich heraus, dass in den meisten geometrisch balancierten Angussystemen Ungleichgewichte im Füllvorgang auftreten. Nahezu die gesamte Spritzgießindustrie hatte dieses Phänomen sowohl bei Kalt- als auch bei Heißkanalwerkzeugen übersehen. Darüber hinaus berücksichtigten die branchenüblichen Software-Programme zur Füllsimulation die scherinduzierten Ungleichgewichte nicht. Daher vermittelten sie den Anwendern den falschen Eindruck, dass diese Angussysteme einheitliche Schmelze-, Füll- und Verdichtungsbedingungen gewährleisten. Das Problem existiert heute immer noch und sollte bei der Verwendung von Analyse-Programmen berücksichtigt werden.

Von besonderem Interesse ist die Entwicklung, das Angussystem nicht nur als notwendige Verbindung zwischen Spritzeinheit und der Werkzeugkavität zu betrachten, sondern als wesentliches Instrument des Verarbeitungsprozesses. Neuartige Methoden der Schmelzerotation wie MeltFlipper® und iMARC™ führen zum Konzept des 3D-Spritzgießens.

Dieses Buch liefert eine unabhängige Betrachtung von Heiß- und Kaltkanalsystemen, ohne ein Urteil zu fällen, welches System sich am besten für eine bestimmte Anwendung eignet. Stattdessen behandelt es die entscheidenden Fragen zur Auslegung. Die *ersten Kapitel* schaffen eine Grundlage für die Gestaltung von Angussystemen durch Erläuterung der rheologischen Eigenschaften der Kunststoffschmelze. Darüber hinaus wird der Einfluss der Gestaltung des Angussystems und der Anschnittposition auf das Formteil beschrieben. *Kapitel 4*

beschreibt wichtige Strategien für die Gestaltung des Angussystems und der Anschnittposition, die entscheidend für das erfolgreiche Spritzgießen sind. *Kapitel 5* gibt einen Überblick über das gesamte Schmelzeversorgungssystem, während in *Kapitel 6 und 7* die Entstehung scherinduzierter Ungleichgewichte und Lösungen dafür beschrieben werden. Die *Kapitel 5, 6 und 7* behandeln Fragen, die sowohl für Heiß- und Kaltkanalsystemen gelten. Dabei werden grundlegende Probleme der Fließkanalgeometrie mit der Schmelzerheologie verknüpft. *Kapitel 8* konzentriert sich auf die Gestaltung von Kaltkanalsystemen einschließlich spezieller Leitlinien für Fließkanäle und eine Vielzahl von Gestaltungsmöglichkeiten für Anschnitte. In den *Kapiteln 9 bis 13* werden die Gestaltung von Heißkanal-Systemen und deren einzigartige Fähigkeiten und Herausforderungen genau betrachtet. *Kapitel 14* gibt einen Überblick über den Prozess der Gestaltung und der Auswahl eines Angussystems. Das letzte Kapitel bietet einen umfangreichen Leitfaden zur Fehlerbehebung mit Beiträgen von John Bozzelli und David Hoffman.

Diese zweite Auflage enthält in allen 15 Kapiteln zahlreiche Aktualisierungen und neue Abbildungen. Die *Kapitel 6 und 7* enthalten zusätzliche Informationen und Beispiele zum besseren Verständnis der entscheidenden scherbedingten Schmelzeschwankungen, die in den Angussystemen aller Spritzgießwerkzeuge auftreten. Autodesk Moldflow-Analysen und damit verbundene Erläuterungen wurden hinzugefügt, um die Komplexität dieses Phänomens besser zu verstehen. In den *Kapiteln 9 bis 12* werden sämtliche Aspekte von Heißkanalsystemen behandelt, einschließlich der Auslegung von Verteilerblöcken, Düsen, Düsen spitzen, Nadelverschlussdüsen und der Betätigung von Nadelverschlüssen. Der *Abschnitt 15.3* „Prozessentwicklung beim Spritzgießen“ wurde von Dave Hoffman vom American Injection Molding Institute (AIM Institute) verfasst und neu hinzugefügt.

Dieses Buch soll dem Leser helfen, ein besseres Verständnis für die entscheidende Rolle zu entwickeln, die das Angussystem beim Spritzgießen spielt. Es ist zu hoffen, dass dieses Verständnis dazu führt, dass Werkzeuge schneller in Betrieb genommen werden können, dass sich die Produktqualität verbessert, die Produktivität steigt, die Kundenzufriedenheit sich erhöht und Qualitätsziele eingehalten werden können.

Danksagungen

Zuallererst möchte ich meiner Frau Betty danken, die meine verschiedene beruflichen Bestrebungen, zu denen auch dieses Buch gehört, im Laufe vieler gemeinsamer Jahre mit unendlicher Geduld unterstützt hat.

Weiterhin gelten mein Dank und meine Anerkennung John Bozzelli, Dave Hoffman und John Kleese, die direkt oder indirekt zu den Inhalten dieses Buchs beigetragen haben. Zuerst möchte ich John Bozzelli (Injection Molding Solutions) und Dave Hoffman (American Injection Molding Institute) für ihre herausragenden Beiträge im Kapitel 15 danken. Der Beitrag von John Bozzelli, ein umfangreicher Leitfaden zur Fehlerbehebung, enthält eine Fülle von Informationen, die auf seiner langjährigen internationalen Erfahrung beruhen. Dave Hoffmans Beitrag „Prozessentwicklung beim Spritzgießen“ bietet einen praktischen Leitfaden für die Ersteinrichtung eines Spritzgießprozesses. Darüber hinaus enthält der Teil dieses Buches, der sich Heißkanalsystemen widmet, Material von John Klees (ehemals Klees Enterprise). Für seine Bereitschaft, diese Informationen zur Verfügung zu stellen, bin ich sehr dankbar.

Darüber hinaus möchte ich mich bei den ehemaligen Studenten bedanken, die bei der Recherche, der Bearbeitung und den Darstellungen in diesem Buch geholfen haben. Mein besonderer Dank geht an Scott Cleveland, Amanda Neely, Mason Myers und Kory Slye sowie an meinen Sohn Alex Beaumont. Ferner bedanke ich mich bei den Unternehmen Incoe und Husky, die sowohl technische Informationen als auch eine Reihe von Bildern zu den Kapiteln über Heißkanalsysteme in diesem Buch beigetragen haben.

März 2020, John Beaumont

Der Autor

John Beaumont ist Gründer und Geschäftsführer von *Beaumont Technologies* und des *American Injection Molding*-Instituts. Im Jahr 2015 wurde er in die *Plastics Hall of Fame* aufgenommen. Seine früheren Verdienste in der Industrie waren in Positionen als technischer Manager für die Firma *Moldflow US* und leitender Ingenieur für *Ciba Vision Corporation*. John Beaumont ist auch Professor Emeritus an der *Penn State University* welcher er 1989 beitrug, um das *Plastics Engineering Technology*-Programm zu unterstützen. Er hat eine Reihe an Patenten die die Industrie beeinflusst haben erfunden. Am meisten bekannt einige Patente die in Beziehung zu *In-mold Rheological Control*-Methoden stehen; bekannt als *Melt-Flipper*[®] und *Thermaflo*[™], welche Methoden für die Zuordnung der Spritzgieß-Parameter eines Polymers umfassen. Er ist Autor mehrerer Bücher über Spritzgießen, als auch einiger Forschungsarbeiten. John Beaumont war ebenso der Gründer und Direktor des *Plastics CAE Centers* an der *Penn State University*, ist ein Mitglied der *Plastics Pioneers* und ein *SPE* Anhänger.



1

Überblick über Angusssysteme und Ansnittpositionierung

In vielen Fällen hängt die Ansnittposition von der Werkzeuggestaltung ab. Idealerweise sollte die Ansnittposition jedoch so festgelegt werden, dass sie den Anforderungen des Spritzgießbauteils entspricht. Anschließend sollte das Werkzeug so ausgelegt werden, dass die gewünschte Ansnittposition realisiert werden kann. Der Anspritzpunkt und die Auslegung des Ansnitts werden entscheidend davon beeinflusst, ob der Angusskanal entlang der primären Trennebene des Werkzeugs (also der Trennebene, in der sich die Kavität befindet) verläuft oder nicht.

Dieses Kapitel liefert nur eine kurze Einführung zu den grundlegenden Arten von Angusskanälen und deren Einfluss auf die Gestaltung und die Positionierung des Ansnitts. Einzelheiten dazu werden in den folgenden Kapiteln dieses Buches dargestellt.

■ 1.1 Angusssysteme in der primären Trennebene

In der Kunststoffindustrie herrschen Werkzeuge vor, bei denen sowohl das Angusssystem als auch die Kavität in der primären Trennebene liegen. An der primären Trennebene öffnet sich das Werkzeug, um das spritzgegossene Bauteil und den Anguss zu entformen. In Zweiplattenwerkzeugen befinden sich die Angusskanäle in der primären Trennebene. Das Material, das sich im Angusssystem befindet, wird in jedem Spritzgießzyklus abgekühlt und aus dem Werkzeug ausgeworfen. Die Kunststoffschmelze wird durch das Angusssystem und den Ansnitt in die Kavität eingespritzt. Anschließend wird die Schmelze im Werkzeug abgekühlt. Sobald das Material erstarrt, öffnet sich das Werkzeug und der Anguss und das Bauteil werden an der primären Trennebene entformt. Das Bild 1.1 zeigt die Lage des Angusssystems innerhalb des Werkzeugs und den Auswerfvorgang in der primären Trennebene. Zu beachten ist, dass das Bauteil und der Anguss in der gleichen Trennebene geformt und ausgeworfen werden.

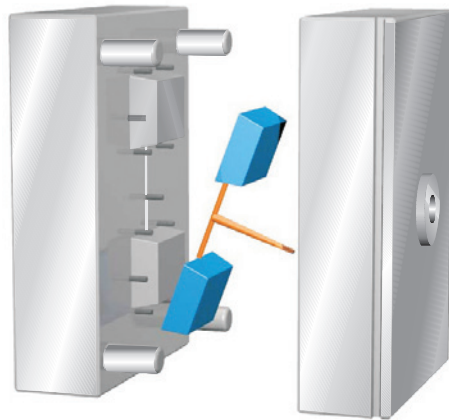


Bild 1.1 Geöffnetes Zweiplatten-Werkzeug, während die Formteile und der Anguss ausgeworfen werden

Nachdem das Formteil und der Anguss ausgeworfen sind, schließt sich das Werkzeug wieder. Dabei bildet sich ein Fließkanal, der von der Maschinendüse bis zur Kavität verläuft. Da dieser Fließkanal sich in der gleichen Trennebene wie die Kavität befindet, kann das Spritzgießteil nur am Rand angespritzt werden. Bei Tunnelanschnitten befindet sich der Anspritzpunkt in geringem Abstand vom Bauteilrand (siehe Abschnitt 8.4.7).

■ 1.2 Angussysteme in einer parallelen Trennebene

Eine zweite Möglichkeit besteht darin, dass das Angussystem nicht in der Trennebene des Werkzeugs, sondern parallel dazu verläuft. Diese Angussysteme können in Kaltkanal- oder Heißkanalwerkzeugen verwendet werden.

1.2.1 Kaltkanalsysteme

In einem Dreiplatten-Kaltkanalwerkzeug verläuft der Angusskanal in einer zweiten Trennebene, also außerhalb der Trennebene, in der das Spritzgießbauteil geformt wird. Die beiden Trennebenen liegen parallel zueinander und werden durch eine oder mehrere Werkzeugplatten voneinander getrennt. Der Angusskanal und die Kavität werden durch einen sekundären Angusskegel verbunden. Der sekundäre Angusskegel durchquert die Werkzeugplatte und verbindet die Kavität mit einem Anschnitt. Sekundärverteiler sind normalerweise parallel zur Öffnungsrichtung des Werkzeugs und im rechten Winkel zum Angusskanal angeordnet.

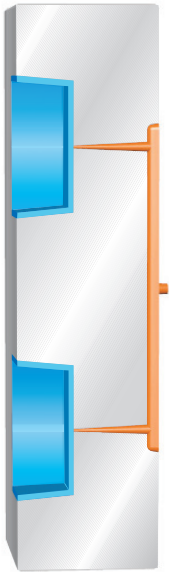


Bild 1.2 Dreiplatten-Kaltkanalwerkzeug mit sekundärem Angusskegel, der die Kavitäten mit Schmelze versorgt

Während des Spritzgießens erstarrt die Schmelze im Angusskanal und in der Kavität. Anschließend öffnet sich das Werkzeug an beiden Trennebenen. Das Bauteil wird an der primären Trennebene ausgeworfen, der Angusskanal (mit Sekundärverteiler und Anguss) wird an der zweiten Trennebene ausgeworfen (siehe Bild 1.3).

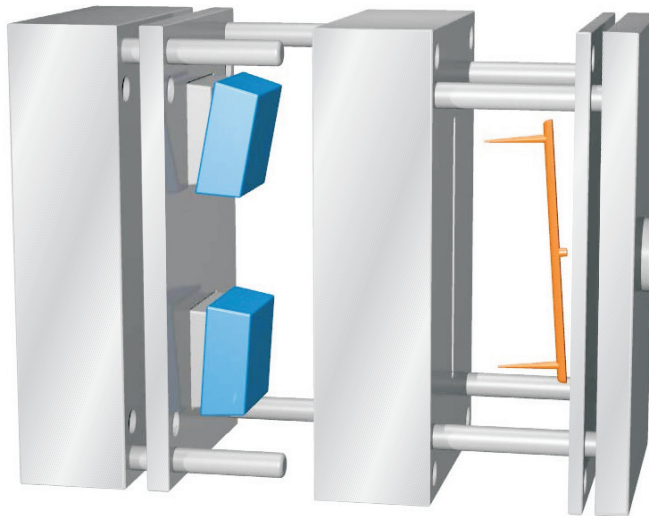


Bild 1.3 Geöffnetes Dreiplatten-Kaltkanalwerkzeug; die Formteile werden an der ersten Trennebene, der Anguss an der zweiten Trennebene ausgeworfen

Diese Werkzeuge werden als Dreiplatten-Kaltkanalwerkzeuge bezeichnet. Die Begriffe Zweiplatten- und Dreiplatten-Kaltkanalwerkzeuge beziehen sich auf die Mindestanzahl von Werkzeugplatten, die erforderlich sind, um das Bauteil und den Anguss zu entformen. Bei Zweiplatten-Kaltkanalwerkzeugen werden Bauteil und Anguss zwischen der ersten und zweiten Platte geformt und ausgeworfen. Bei Dreiplatten-Kaltkanalwerkzeugen wird das Bauteil zwischen der ersten und zweiten Platte geformt und entfernt, Angussverteiler und Anguss werden zwischen einer dritten Platte und der zweiten Platte, die zur Bauteilformung dient, geformt und ausgeworfen.

Diese Werkzeugbauweise kommt zum Einsatz, wenn der Anschnitt nicht am Bauteilrand liegen soll. Sie wird meistens für Spritzgießteile genutzt, bei denen in der Bauteilmitte angespritzt werden soll.

1.2.2 Heißkanalsysteme

Eine zweite Variante von Werkzeugen, bei denen das Angussystem parallel zur Trennebene angeordnet ist, sind Heißkanalwerkzeuge. Sie bieten die gleiche Flexibilität wie Dreiplattenwerkzeuge mit Kaltkanalsystem. Anders als beim Kaltkanalsystem bleibt jedoch der Kunststoff, der sich im Angussystem befindet, im geschmolzenen Zustand und wird zwischen den Spritzgießzyklen nicht ausgeworfen. Die Auslegung von Heißkanalsystemen ist komplexer als die von Kaltkanalsystemen. Die Auslegung und die Unterschiede zu Kaltkanalsystemen werden in Kapitel 9 behandelt.

Das Bild 1.4 zeigt zwei Varianten eines Heißkanalsystems. Die Schmelze fließt durch einen heißen Verteiler, der normalerweise parallel zu den Aufspannplatten der Spritzgießmaschine verläuft. Die Schmelze wird aus dem Verteiler durch eine Düse in die Kavität eingespritzt. Dabei muss insbesondere darauf geachtet werden, dass die Wärme des Verteilers und der Düse nicht auf die gekühlte Kavität übergeht. Anders als bei Kaltkanalwerkzeugen bleibt der Kunststoff im Heißkanalsystem geschmolzen und wird nicht bei jedem Zyklus ausgeworfen. Diese Werkzeuge bieten – wie die Dreiplattenwerkzeuge mit Kaltkanalsystem – mehr Anspritzmöglichkeiten als Zweiplattenwerkzeuge mit Kaltkanalsystem.

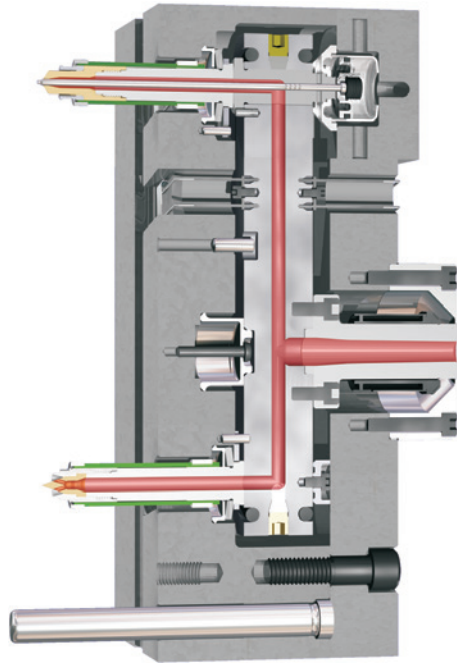


Bild 1.4 Extern beheiztes Heißkanalsystem mit Darstellung der Verteiler und Düsen. Die Abbildung zeigt zwei Düsenarten: die obere Düse verfügt über eine Verschlussdüse, die untere hat eine konventionelle offene Düse (Bild: Husky)

■ 1.3 Kombinationen aus Heiß- und Kaltkanalsystemen

Häufig enthalten Werkzeuge Angussysteme, die sich sowohl in der primären Trennebene befinden als auch parallel dazu angeordnet sind. Dies trifft vor allem auf Heißkanalwerkzeuge zu. Dabei versorgt das Heißkanalsystem das in der primären Trennebene liegenden Kaltkanalsystem. Das Bild 1.5 zeigt als Beispiel ein flaches, ringförmiges Bauteil, das in einem Zweifachwerkzeug hergestellt wird. Die Heißkanaldüse führt die Schmelze einem Kaltkanalsystem zu, das sich in der Mitte des Bauteils befindet. Das Kaltkanalsystem führt strahlenförmig zu den Anschnitten am inneren Rand des Bauteils.

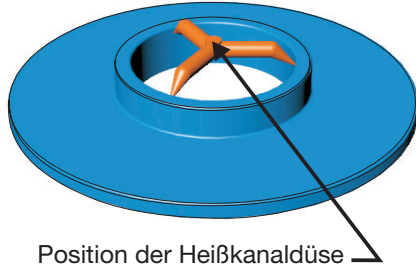


Bild 1.5 Rundes Formteil mit innenliegendem Anguss, der mit einer Heißkanaldüse versorgt wird

■ 1.4 Gestaltung des Anschnitts

Angusssysteme in der Trennebene weisen Einschränkungen bei der Lage des Anschnitts auf, bieten aber eine große Flexibilität bei der Anschnittgestaltung. Dreiplattenwerkzeuge mit Kaltkanalsystemen sind auf Punktanschnitte beschränkt, die es ermöglichen, den Anguss vom Bauteil abzutrennen, wenn sich das Werkzeug öffnet. Bei Angusssystemen in der Trennebene können ähnliche Anschnitte verwendet werden, um eine automatische Abtrennung während der Werkzeugöffnung zu erreichen – dies ist jedoch nicht unbedingt erforderlich. Angusssysteme in der Trennebene gewährleisten, dass der Anschnitt in der Trennebene liegt. Dies eröffnet flexible Gestaltungsmöglichkeiten, wie Band-, Film-, Tunnel- oder Seitenanschnitte. Diese Anschnitte erlauben es auch, den Anguss am Bauteil zu belassen. Dies kann die Handhabung im Anschluss an den Spritzgießvorgang erleichtern. Breitere Anschnitte können verwendet werden, um die Schergeschwindigkeit und Scherbelastung in der Anschnittregion während der Füllphase zu verringern oder um Fließvorgänge in der Kavität zu verbessern. Anschnitte mit einem größeren Durchmesser können die Verdichtung des Bauteils verbessern.

Die oben beschriebene Kombination aus Heiß- und Kaltkanalsystem erweitert die Anschnittmöglichkeiten. Diese Kombination ist beispielsweise erforderlich bei zylinderförmigen Teilen, bei denen ein Schirmanschnitt erwünscht ist (siehe Bild 8.31 in Kapitel 8). Dabei versorgt die Heißkanaldüse den Schirmanschnitt, der wiederum die Kavität versorgt. Die genannten Anschnittformen und zusätzliche Anschnittmöglichkeiten – wie Nadelverschlussdüsen und Kaltkanalsysteme mit automatischer Angussabtrennung werden in den Kapiteln 8 und 11 vorgestellt.

Bei fast allen Heißkanalsystemen kommen Anschnitte mit kleinem Querschnitt zum Einsatz, alternativ können jedoch auch Nadelverschlussdüsen und Seitenanschnitte verwendet werden.

mengen durch die Düse gedrückt wird und der daraus resultierende Druck gemessen oder berechnet wird. Wenn der Durchmesser d , die Länge der Kapillardüse L sowie die Durchflussmenge Q definiert sind, können daraus die Schergeschwindigkeit, die Scherspannung und die Viskosität des Polymers bei mehreren Schergeschwindigkeiten berechnet werden. Der Druck, der die Schmelze durch die Kapillare drückt, wird entweder direkt in der Schmelzkammer gemessen oder ergibt sich aus der Kraft auf den Kolben und der Fläche des Kolbens, der das Material durch die Kapillare drückt.

Die Messungen werden in der Regel bei mindestens drei Temperaturen durchgeführt – zwei im Einsatzbereich und eine in der Nähe der Übergangstemperatur des Materials. Die Messungen sollten bei mindestens drei Schergeschwindigkeiten, besser bei acht bis zehn Schergeschwindigkeiten für jede dieser drei Temperaturen durchgeführt werden. Die Schergeschwindigkeiten sollten dabei einen möglichst großen Bereich abdecken. Abhängig von der Größe der Kapillardüse und der Ausstattung des Rheometers kann dieser Bereich von 10 bis 10 000 s^{-1} reichen. Vorzugsweise werden für jede Temperatur 8 bis 10 Schergeschwindigkeiten gemessen. Das Verhältnis aus Düsenlänge und Düsendurchmesser beträgt üblicherweise etwa zwanzig zu eins. Das Bild 2.12 zeigt eine schematische Darstellung eines typischen Kapillar-Rheometers zur Bestimmung der Viskosität.

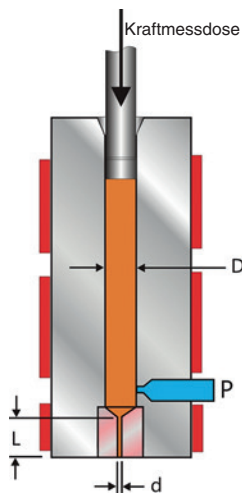


Bild 2.12 Querschnitt eines Kapillar-Rheometers

Die Schergeschwindigkeit wird berechnet wie in Formel 2.4 angegeben:

$$\dot{\gamma} = 32Q / \pi d_1^3 \quad \text{oder} \quad 4Q / \pi r_1^3$$

Dabei ist Q die Durchflussmenge, und d_1 der Durchmesser der Kapillare.

Die Scherspannung wird berechnet mit:

$$\sigma = \Delta P d_1 / 4L \quad \text{oder} \quad \Delta P r_1 / 2L \quad (2.9)$$

Dabei ist Δp der Druckverlust über die Länge l der Kapillare, d_1 der Durchmesser der Kapillare, L die Länge der Kapillare und r der Radius der Düse. Der Druck wird entweder indirekt

mit einem Druckaufnehmer im beheizten Zylinder gemessen oder aus der Kraft, die mit einer Kraftmessdose gemessen wird, berechnet:

$$P = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Die Viskosität kann berechnet werden mit:

$$\eta = \sigma / \dot{\gamma} \quad (2.10)$$

Dies kann auch dargestellt werden als:

$$\eta = \frac{\left(\frac{\Delta p d_1}{4L} \right)}{\left(\frac{32Q}{\pi d_1^3} \right)} \quad (2.11)$$

Die Scherspannung im Kapillar-Rheometer kann auch berechnet werden mit:

$$\sigma_s = \frac{(P_1 - P_0) r}{2L} \quad (2.12)$$

P_L = Druckverlust bei einem L/D -Verhältnis von 20:1 oder mehr

P_0 = Druckverlust bei einem L/D -Verhältnis von 0

r = Radius der Öffnung der Kapillare

l = Länge der Öffnung der Kapillare

Diese Gleichung beinhaltet die Bagley-Korrektur. Sie korrigiert die Verluste am Übergang vom größeren Durchmesser der Schmelzkammer zur kleineren Kapillare. Das Verfahren erfordert, dass die Schmelze mit mindestens zwei Kapillaren mit unterschiedlichen Längen untersucht wird. Davon sollte eine Kapillare ein Verhältnis von Länge zu Durchmesser von mindestens 20:1 aufweisen. Dieser Druck wird als P_1 erfasst. Eine zweite Prüfung wird mit einer kürzeren Kapillare mit gleichem Durchmesser durchgeführt. Dabei wird der Druck P_2 erfasst. Die Auftragung von Druck und Länge ermöglicht es, den Druck durch eine Kapillare mit Länge von Null (P_0) zu extrapolieren. Der Druck P_0 wird dann vom Druck P_L der Kapillare mit Standardlänge abgezogen. Auf diese Weise kann der Druck ohne Eintrittsverluste berechnet werden. Um sicherzustellen, dass die Strömungsgeschwindigkeit durch beide Kapillaren gleich ist, sollten die Tests mit einem Doppelkapillar-Rheometer durchgeführt werden.



Bild 4.14 Kfz-Karosserieelement, das mit einem speziellen Bandanschnitt hergestellt wird, um Binde-
nähte zu vermeiden und die Gefahr von Eigenspannungen und Verzug zu minimieren

4.2.5 Vermeidung von Lufteinschlüssen

Es gibt zwei verschiedene Situationen, in denen Lufteinschlüsse entstehen können. Diese sind in den folgenden Beispielen dargestellt.



Beispiel 9

Das Bild 4.15 zeigt die Ergebnisse einer Füllsimulation für ein Bauteil, das in der Mitte relativ dünnwandig ist und größere Wanddicken im Randbereich aufweist. Diese Form eines flachen Bauteils mit einem dickeren Rand hat eine gewisse Ähnlichkeit mit einem Bilderrahmen. In der Regel besteht die einzige gute Lösung darin, den Flansch hohl zu gestalten. Wenn in den dickeren Bereich des Spritzgießteils angespritzt wird, fließt die Schmelze wie dargestellt sehr schnell in die dickeren Abschnitte, während sie die dünneren Abschnitte nur langsam füllt. Dadurch kommt es zum „Bilderrahmen-Effekt“. Die Schmelzefronten treffen im dickeren Bereich aufeinander, dadurch bildet sich im dünnwandigen Bereich ein Lufteinschluss. Wenn in der Mitte angespritzt wird, fließt die Schmelze aus den dünneren in die dickeren Bereiche, was zu unkontrollierter Schwindung in den dickeren Bereichen führt. Bild 4.1 und Bild 4.2 (siehe Seite 56) sind Beispiele für Spritzgießteile mit einer dünnwandigen Mitte und einem dicken Randbereich. Das Spritzgießteil wird mit acht Anschnitten gespritzt, die sich jeweils in der Mitte der sternförmig angeordneten Fließhilfen befinden. Das Ergebnis ist, dass sich das Formteil schüsselförmig verzieht und sich Lufteinschlüsse bilden. Die schüsselartige Verformung des Bauteils und wie sich die vertikalen Bauteilbereiche auf der linken und rechten Seite nach außen biegen, zeigt das Bild 4.1 (siehe Seite 56).

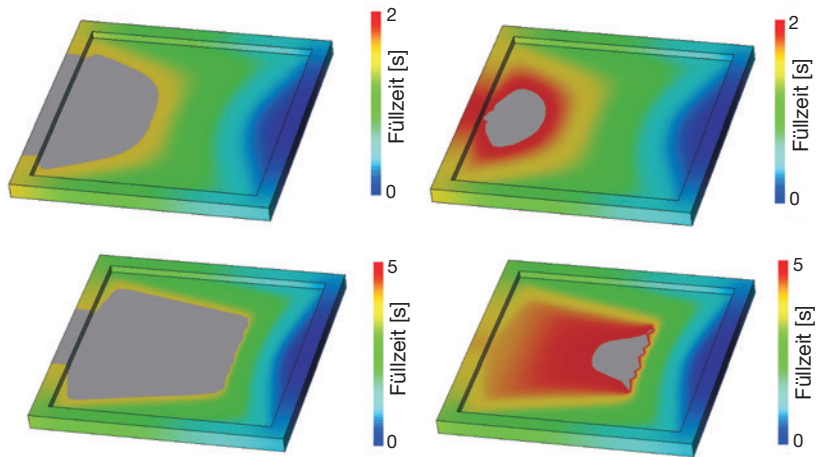


Bild 4.15 Simulation der Entstehung eines Lufteinschlusses an einem Teil mit einem dicken Rand und einer dünnwandigen Bauteilmitte



Beispiel 10

Eine weitere Variante des „Bilderrahmen-Effekts“ tritt auf, wenn Bauteile mit Hohlraum im Randbereich angespritzt werden. Das Bild 4.16 zeigt einen seitlich angespritzten Becher. Die Schmelze muss vom Anschnitt um den Umfang herum eine kürzere Entfernung zurücklegen als bis zum oberen Rand. Dies führt zu einem Lufteinschluss.

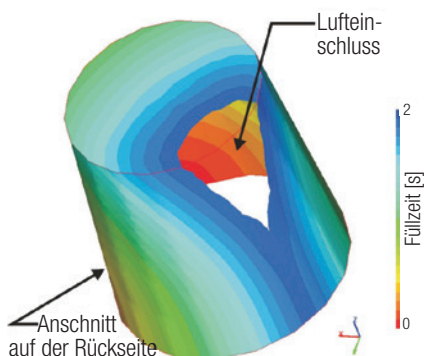


Bild 4.16 Simulation der Entstehung eines Lufteinschlusses durch eine ungünstige Anschnittposition. Die Schmelze fließt um den Bauteilrand herum, bevor sie über den oberen Bereich des Werkzeugkerns fließen kann



Beispiel

Im Folgenden wird der Druckverlust in einem Heißkanal mit einem runden Querschnitt mit einem Durchmesser von 0,5 in. und der Druckverlust in einem intern beheizten Heißkanalsystem, das die gleiche Menge an Kunststoff enthält (d. h. gleiche Verweilzeit) gegenübergestellt.

A Bestimmung der Querschnittsfläche des runden Kanals

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi (0,5)^2}{4} = 0,196 \text{ in}^2 \quad (5.5)$$

B Der intern beheizte Heißkanal wird mit einem Heizelement mit einem Durchmesser d_1 von 0,625 in. beheizt. Bestimmung, mit welchem Bohrungsdurchmesser d_2 (Fließkanaldurchmesser) die gleiche Querschnittsfläche wie beim runden Kanal erreicht werden kann (Bild 5.11)

$$A = \frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{\pi (0,625)^2}{4} = 0,196 \text{ in}^2$$

d_2 kann nun über folgende Beziehung bestimmt werden

$$\frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{\pi (0,625)^2}{4} = 0,196 \text{ in}^2$$

Diese Gleichung wird nun nach d_2 aufgelöst:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \left(0,196 \text{ in}^2 + \frac{\pi (0,625)^2}{4} \right)}{\pi}} = 0,8''$$

$d_2 = 0,8$ in.

wenn $d_1 = 0,625$ in., dann $r_1 = 0,3125$ in.

wenn $d_2 = 0,800$ in., wenn $r_1 = 0,400$ in.

C Wenn die Dicke des Kanals bekannt ist, kann die Kanalbreite bestimmt werden. Die Kanalbreite ist der Umfang der Mittelebene des Zylinders, der durch die Radien r_1 und r_2 definiert ist (Bild 5.11).

$$\text{Dicke des Kanals } (h) = r_2 - r_1 = 0,400 - 0,3125 = 0,0875 \text{ in} \quad (5.6)$$

$$\text{Radius der Mittelebene } (r_3) = \frac{0,400 + 0,3125}{2} = 0,356 \text{ in} \quad (5.7)$$

$$\text{Breite des Fließkanals } (w) = \pi(2r_3) = \pi(0,713 \text{ in}) = 2,237 \text{ in} \quad (5.8)$$

Somit entspricht dem ringförmigen Fließkanal - der die gleiche Menge an Material wie ein runder Kanal mit einem Durchmesser von 0,5 in. enthält - einem flachen rechteckigen Schlitz, der 0,0875 in. dick und 2,237 in. breit ist.

D Vergleich des Druckabfalls in den beiden verschiedenen Kanalformen, welche die gleiche Menge an Kunststoff enthalten (gleiche Querschnittsfläche).

Gegeben:

- Durchflussmenge (Q) = 2 in³/s
- Viskosität (η) = 0,0304 (lbs)/in²
- Länge des Fließkanals (l) = 10 in

Druckverlust in einem runden Fließkanal (mit Formel 5.2):

Das folgende Beispiel verwendet ein Viskositätsmodell nach dem Potenzgesetz mit einem Polymer mit einem nicht-newtonschen Index (n) von 0,65 und einer Referenzviskosität (oder Konsistenzindex) (m) von 0,179 psi·sec.

Gegeben: $\eta = m \dot{\gamma}^{n-1}$; $m = 0,179 \text{ psi} \cdot \text{sec}$; $n = 0,681$

$$\dot{\gamma}_{\text{vollrund}} = \frac{4Q}{\pi r^3} = \frac{4 \cdot 2}{\pi \cdot 0,25^3} = 163 \text{ sec}^{-1}$$

$$\eta = m \dot{\gamma}^{n-1} = 0,179 \cdot 163^{0,681-1} = 0,0352$$

$$\Delta P_{\text{vollrund}} = \frac{8Q\eta l}{\pi r^4} = \frac{8 \cdot 2 \cdot 0,0352 \cdot 10}{\pi \cdot 0,25^4} = 460 \text{ psi}$$

Druckabfall im ringförmigen Fließkanal mit gleichem Volumen wie im runden Fließkanal:

Methode 1: Der Druckabfall im ringförmigen Fließkanal kann durch Berechnung des Druckabfalls in einen rechteckigen Schlitz bestimmt werden, der dem ringförmigen Fließkanal entspricht, wie in Formel 5.6 und in 5.8 festgelegt und in Bild 5.11 dargestellt.

Die Schergeschwindigkeit im rechteckigen Fließkanal (γ) wird berechnet, um die Viskosität zu bestimmen, die wiederum zur Berechnung des Drucks benötigt wird.

Gegeben: $\eta = m \dot{\gamma}^{n-1}$; $m = 0,179 \text{ psi} \cdot \text{sec}$; $n = 0,681$

$$\dot{\gamma}_{\text{Schlitz}} = \frac{6Q}{wh^2} = \frac{6 \cdot 2}{2,237 \cdot 0,0875^2} = 701 \text{ sec}^{-1}$$

$$\eta = m \dot{\gamma}^{n-1} = 0,179 \cdot 701^{0,681-1} = 0,0221$$

$$\Delta P_{\text{Schlitz}} = \frac{12Q\eta l}{wh^3} = \frac{12 \cdot 2 \cdot 0,0221 \cdot 10}{2,237 \cdot 0,0875^3} = 3539 \text{ psi}$$

7.6.4 Mehrachsige Schmelzesymmetrie

Mehrachsige Schmelze-Rotations-Technik ist unter dem Handelsnamen MeltFlipper MAX™ in zahlreichen Gestaltungsformen erhältlich. Diese Anwendungen können von der Regelung des Füllens und Verdichtens über die Platzierung von Bindenähten in einem Einkavitäten-Werkzeug bis hin zur Regelung der Schmelzeverteilung in Heißkanal-Etagenformen mit hoher Kavitätanzahl reichen.

Das Schmelzemanagement des MeltFlipper MAX nutzt die Schmelze-Rotations-Technik, um die durch eine Verzweigung der Fließfront entstehenden asymmetrischen Bedingungen strategisch zu positionieren und neu zu kombinieren, so dass eine Schmelzesymmetrie über mehrere Achsen erzeugt wird. Wie bereits in diesem Kapitel besprochen, kann die konventionelle Schmelze-Rotations-Technik zwar seitliche Schwankungen in einem Schmelzstrom auflösen, aber sie ermöglicht keine biaxiale Ausrichtung, die für Formteile wie mittig angespritzte Rohre, Kappen oder Zahnräder erforderlich sein kann. Mehrachsige Systeme können auch verwendet werden, um die Verteilung von hoch- und niedrig geschertem Material zu beeinflussen. Dadurch kann beispielsweise absichtlich eine Asymmetrie erzeugt, eine Bindenaht verschoben, ein Lufteinschluss vermieden oder einem bestehenden Verzugsproblem entgegengewirkt werden.

Die in Bild 7.41 A dargestellte Konstruktion bewirkt, dass die stark gescherte Schmelze am Rand des Kanals positioniert wird. Dadurch werden die mehrachsigen symmetrischen Schmelzbedingungen wiederhergestellt, die vor dem Austritt der Schmelze aus dem Anguss bestanden haben. Durch die Umkehrung der Rotation der Schmelze wird die stark gescherte Schmelze aus dem Anguss so positioniert, wie in Bild 7.41 B und C dargestellt. Bild 7.41 B zeigt, wie der MeltFlipper MAX verwendet wird, um die hochgescherten Schichten in der Mitte des Schmelzstroms an der Oberseite des Fließkanals zu positionieren.

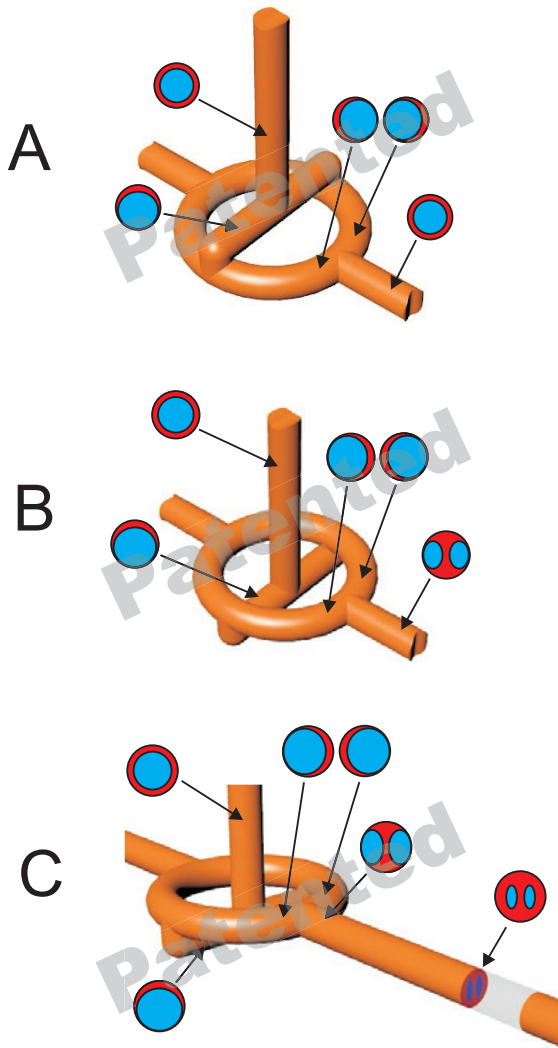


Bild 7.41 Varianten der MeltFlipper MAX™ Technologie, die die Schmelzsymmetrie wiederherstellen. Die Ausführungen A und B erzeugen die dargestellten symmetrischen Schmelzebedingungen im Primärkanal. Teil C zeigt die mit Ausführung B erzeugten Schmelzebedingungen stromabwärts im Primärkanal

Ein weiteres Anwendungsgebiet für die MeltFlipper MAX™ Technologie sind Heißkanal-Etagenwerkzeuge. Die resultierende biaxiale Symmetrie ermöglicht es, die Schmelze auszugleichen, wenn sie entlang derselben Ebene, wie bei einem konventionellen Heiß- oder Kaltkanal, oder zwischen den beiden Trennebenen einer Etagenform verzweigt wird. Bild 7.42 zeigt eine Vereinfachung der patentierten Bauformen, die in Heißkanal-Etagenwerkzeugen verwendet werden können. Die tatsächlichen Ausführungen unterscheiden sich etwas von dieser Darstellung.

Wenn die Kavitäten sich in der Mitte des Werkzeugs befinden, kann der Angussschnorchel nicht in der Mitte des Werkzeugs verlaufen. In einem solchen Fall kann der zentrale Verteiler durch einen Strömungskanal versorgt werden, der sich außerhalb des Werkzeugs befindet (siehe Bild 9.9).

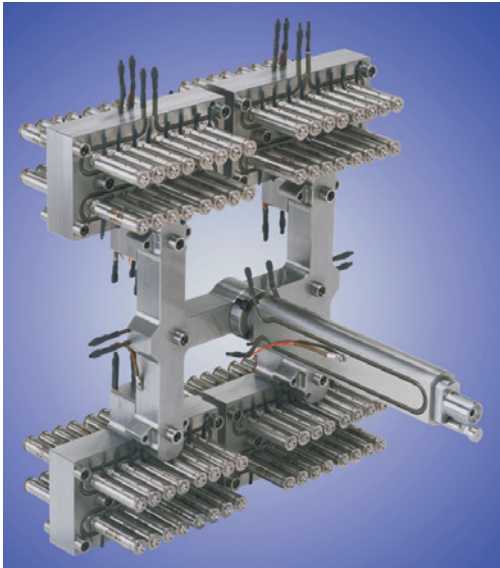


Bild 9.8 Heißkanalsystem mit 128 Düsen
(Bild: Incoe)

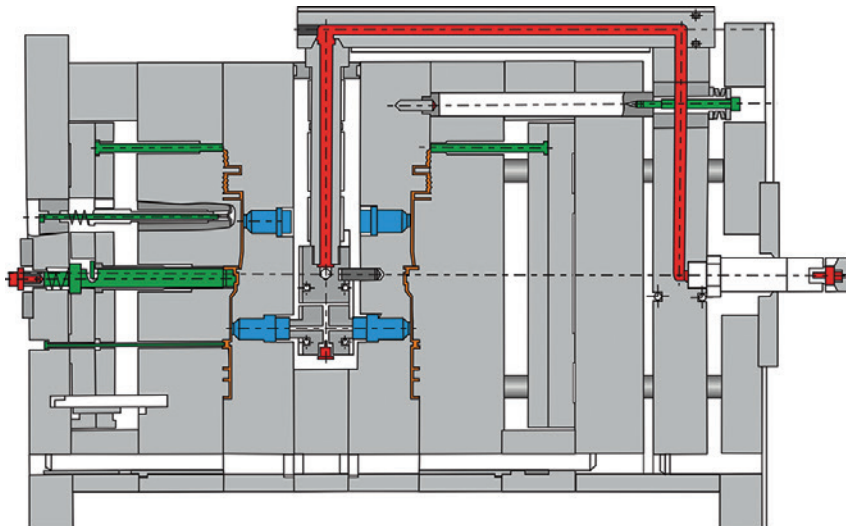


Bild 9.9 Bei Heißkanalsystemen kann die Schmelze von außen in das Werkzeug zugeführt werden. Diese Methode wird manchmal angewendet, wenn in einem Etagenwerkzeug große Bauteile hergestellt werden, die sich jeweils in der Mitte der beiden Trennebenen befinden

■ 15.2 Leitlinien zur Problembehandlung beim Spritzgießen

John Bozzelli

Die folgende Anleitung zur Fehlerbehebung wurde für einen geschwindigkeitsgeregelten Einspritzvorgang entwickelt. Geschwindigkeitsregelung bedeutet, dass – in der Regel am Umschaltzeitpunkt vom Einspritzen auf Nachdruck – der Höchstwert für den Hydraulik- bzw. Schmelzedruck während des Einspritzens höher ist als der tatsächliche Hydraulik- bzw. Schmelzedruck. Ist dies nicht der Fall, sollten diese Leitlinien zur Problembehandlung nicht verwendet werden. Die Vorgehensweise bei der Verarbeitung mit Geschwindigkeitsregelung ist in Abschnitt 15.3 zu finden.

Bitte beachten Sie auch, dass alle Druckangaben sich auf den Schmelze- bzw. Massedruck beziehen. Der Hydraulikdruck kann nicht verwendet werden, weil die Übersetzungsverhältnisse bei hydraulischen Maschinen unterschiedlich sind und elektrische Maschinen aufgrund ihrer Konstruktion mit Schmelzedrücken kalibriert werden. Diese Anleitung zur Problembehebung gilt sowohl für hydraulische als auch elektrische Spritzgießmaschinen. Das Übersetzungsverhältnis wird in Abschnitt 15.3 erläutert.

Des Weiteren wird in dieser Anleitung zur Fehlersuche davon ausgegangen, dass die Spritzgießmaschine einwandfrei funktioniert. Treten Probleme mit der Maschine auf, müssen zunächst diese Probleme behoben werden, bevor nach anderen Fehlern gesucht wird.

Sicherheitshinweis

Sie sind für Ihre eigene Sicherheit und die Sicherheit anderer verantwortlich. Handeln Sie vorsichtig. Spritzgießmaschinen und Werkzeuge arbeiten unter hohen Temperaturen und Drücken. Umgehen Sie niemals Sicherheits- und Schutzeinrichtungen. Achten Sie darauf, die folgenden Kunststoffe nicht miteinander zu vermischen. Sie können sich katalytisch zersetzen und Gase bilden, die einen hohen Druck in der Schnecke, im Zylinder, im Trichter oder in der Düse erzeugen. Diese Drücke können so hoch sein, dass Zylinder, Düsen, Trichter etc. auseinander brechen und die Fragmente sich wie Projektile verhalten.



GEFAHRENHINWEIS

Die folgenden Materialien dürfen unter keinen Umständen miteinander vermischt oder nacheinander verarbeitet werden:

- POM mit PVC oder PVC-C
- Santoprene mit PVC oder PVC-C
- Santoprene mit POM

Wenn auf einer Maschine beide Materialien verarbeitet werden müssen, zerlegen und reinigen Sie Schnecke und Zylinder sorgfältig vor der Verarbeitung. Auch die Mischung kleiner Mengen kann zu einer katalytischen Zersetzung und zu einer Gasbildung mit hoher Druckentwicklung führen.

Anhaften des Angusses

Mögliche Ursache	Lösungsvorschläge
Radius der Düsen- spitze stimmt nicht mit der Anguss- buchse überein	Überprüfen Sie die Übereinstimmung der Radien, indem Sie ein Stück Pappe zwischen Düse und Angussbuchse einfügen. Die Düsen- spitze muss fehlerfrei an der Pappe abgebildet sein. Falls Kratzer, Schnitte oder Versatz zu sehen sind, wechseln Sie die Düse aus.
Düsenöffnung zu groß	Überprüfen Sie die Öffnung von Düse und der Angussbuchse. Der Durchmesser der Düsenöffnung sollte mindestens 0,75 mm kleiner sein.
Kratzer oder unsach- gemäße Politur der Angussbuchse	Die Angussbuchse sollte in Entformungsrichtung poliert sein. Polieren in Umfangsrichtung führt zu Hinterschnitten, die sich mit Kunststoff füllen und zu einem Anhaften des Angusses führen. Suchen Sie nach Kratzern, die einen Hin- terschnitt verursachen können. Auch sehr kleine Kratzer können dazu führen, dass der Anguss haftet.
Probleme mit dem Angusszieher	Prüfen Sie, ob der Angusszieher groß genug und richtig ausgelegt ist. Fügen Sie Hinterschnitte hinzu oder erhöhen Sie die Konizität.
Anguss erstarrt nicht	Wenn der Anguss bei Werkzeugöffnung noch weich ist, verkleinern Sie den Anguss oder kühlen Sie die Angussbuchse. Verringern Sie zunächst die Düsen- temperatur, dann die Schmelztemperatur. Der letzte Ausweg ist die Verlänge- rung der Kühlzeit.
Unzureichende Schräge des Angusses	Die Schräge sollte etwa 0,4 mm pro 10 mm Angusslänge betragen.
Anguss zu stark verdichtet	Führen Sie eine Studie zur Bestimmung der Siegelzeit durch. Falls möglich, verkürzen Sie die Nachdruckzeit, und verlängern Sie dafür die Kühlzeit oder die Zeit, in der das Werkzeug geschlossen ist.

Anhaften im Werkzeug

Mögliche Ursache	Lösungsvorschläge
Ungeeignete Politur oder Hinterschnitte führen dazu, dass das Spritzgießteil während der Werk- zeugöffnung an der festen Werkzeug- hälfte haftet	Öffnen Sie das Werkzeug langsam manuell und achten Sie darauf, ob das Teil Geräusche macht. Untersuchen Sie das Teil vor dem Auswerfen nach Deforma- tionen. Wenn das Teil vor dem Auswerfen deformiert ist, haftet das Teil an der gegenüberliegenden Werkzeughälfte und wird deformiert, während das Werk- zeug sich öffnet. Polieren Sie das Werkzeug oder entfernen Sie Hinterschnitte in den Bereichen, in denen das Teil haftet.
Ungeeignete Politur oder Hinterschnitte führen dazu, dass das Teil während der Werkzeugöffnung an der beweglichen Werkzeughälfte haftet	Werfen Sie das Teil langsam aus und achten Sie darauf, ob eine Ecke oder ein Bereich hängen bleibt oder ob Spannungen im Teil auftreten. Polieren Sie das Werkzeug oder entfernen Sie vorhandene Hinterschnitte.
Falsche Nachdruck- zeit oder falsche Siegelzeit	Führen Sie eine Analyse der Siegelzeit durch. Überprüfen Sie, ob das Erreichen bzw. das Nichterreichen der Siegelzeit das Problem behebt.

Mögliche Ursache	Lösungsvorschläge
Zu starke Verdichtung, nicht genug Schwindung	Verringern Sie den Nachdruck. Stellen Sie ein paar Teile mit kürzerer Nachdruckzeit her, so dass die Siegelzeit nicht erreicht wird. Verlängern Sie die Kühlzeit um den Betrag, um den die Nachdruckzeit verkürzt wurde, so dass die Zykluszeit sich nicht verändert. Sie können auch versuchen, die Zykluszeit zu verkürzen, indem Sie die Kühlzeit verkürzen.
Zu geringe Verdichtung, übermäßige Schwindung	Wenn die Verkürzung des Nachdrucks die Situation verschlechtert, könnte es daran liegen, dass das Teil auf einen Kern oder ein anderes Werkzeugdetail aufschumpft. Erhöhen Sie den Nachdruck und die Nachdruckzeit. Verkürzen Sie die Kühlzeit um den gleichen Betrag, um die Zykluszeit konstant zu halten. Sie können auch versuchen, die Zykluszeit zu verlängern, indem Sie die Kühlzeit verlängern.
Vakuum durch polierte Oberflächen	Polierte Oberflächen können ein Vakuum erzeugen, das das Teil an der Werkzeugoberfläche hält. Entspannen Sie das Vakuum vor dem Öffnen des Werkzeugs bzw. vor dem Auswerfen.
Füllungleichgewichte bei Mehrfachwerkzeugen	Zur Bestimmung der Balancierung des Werkzeugs siehe Diagnose der Strömungsgruppen, Abschnitt 15.1.
Zu hohe Auswerfergeschwindigkeit	Verringern Sie die Auswerfergeschwindigkeit.
Formteilhandling oder Entnahme durch Roboter	Überprüfen Sie die Vorrichtung am Roboterarm und die Bewegung des Formteils.
Verunreinigungen	Überprüfen Sie, ob das Regranulat Verunreinigungen oder einen hohen Staubanteil enthält.
Belagbildung auf der Werkzeugoberfläche	Inspizieren Sie die Werkzeugoberfläche auf Ablagerungen und reinigen Sie sie sorgfältig.
Ungeeignete Werkzeugoberfläche	Hochpolierte Oberflächen können zu Vakuumbildung führen. Dadurch haftet das Teil am Werkzeug. Ändern Sie die Oberflächenstruktur.
Haarrissbildung	Überprüfen Sie, ob in dem Bereich, in dem das Teil haftet, beispielsweise in der Nähe der Auswerferstifte, Spannungen auftreten. Finden Sie heraus, ob das Teil mit Chemikalien wie Lösungsmitteln oder Trennmitteln in Berührung kommt, die das Material angreifen.
Werkzeug zu heiß oder zu kalt	Erhöhen oder verringern Sie die Werkzeugtemperatur signifikant, allerdings ohne das Werkzeug zu beschädigen. Die Reynolds-Zahl in den Kühlkanälen muss größer als 5000 sein, damit eine turbulente Strömung und eine optimale Kühlung sichergestellt sind. Die Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Abfluss des Kühlmediums muss kleiner als 2 °C sein.
Verspannen der Auswerferplatte	Überprüfen Sie, ob alle Auswerferleisten die gleiche Länge haben. Die Differenz sollte maximal 0,08 mm betragen.
Werkzeugverformung	Prüfen Sie die Ober- und Unterseiten der beiden Werkzeughälften mit einer Messuhr. Starke Werkzeugdeformationen können Hinterschneidungen verursachen, die wiederum zu Entformungsschwierigkeiten führen.
Vakuum	Möglicherweise ist Druckluft notwendig, um ein Vakuum, das während des Auswerfens entsteht, auszugleichen.
Kunststoff enthält ungeeignetes Trennmittel	Geben Sie zusätzliches Trennmittel hinzu. Verarbeiten Sie versuchsweise die gleiche Materialsorte eines anderen Lieferanten. Verwenden Sie Entformungsspray nur bei Beginn der Produktion.

Ausblühen (Ablagerungen auf der Formteil- oder Werkzeugoberfläche)

Mögliche Ursache	Lösungsvorschläge
Migration von Additiven an die Oberfläche des Spritzgießteils	Testen Sie verschiedene Chargen oder Materialtypen. Verringern Sie die Einspritzgeschwindigkeit. Verwenden Sie versuchsweise ein anderes Additiv oder eine andere Rezeptur.
Unzureichende Belüftung	Reinigen Sie die Entlüftungsöffnungen. Überprüfen Sie die Entlüftungsöffnungen durch druckempfindliches Papier, Blaufärbungsmittel oder Plastigauge-Messstreifen. Fügen Sie weitere Entlüftungsöffnungen hinzu.
Weißes Pulver auf dem Teil oder der Werkzeugoberfläche	Bei der Verarbeitung von POM kann sich Formaldehyd am Werkzeug oder am Teil ablagern. Trocknen Sie POM vor der Verarbeitung.

Auswerfermarkierungen

Mögliche Ursache	Lösungsvorschläge
Spritzgießteil haftet an der Auswerferseite	Siehe „Anhaften im Werkzeug“.
Geschwindigkeit der Auswerfer zu hoch	Verringern Sie die Auswerfergeschwindigkeit.
Fläche der Auswerferstifte zu klein	Fügen Sie Auswerferstifte hinzu oder verwenden Sie Auswerferstifte mit einem größeren Durchmesser.
Verkleben der Auswerferplatte	Überprüfen Sie, ob alle Auswerferleisten die gleiche Länge haben. Die Differenz sollte maximal 0,08 mm betragen.
Unterschiedliche Länge der Auswerferstifte	Überprüfen Sie die Länge der Auswerferstifte.

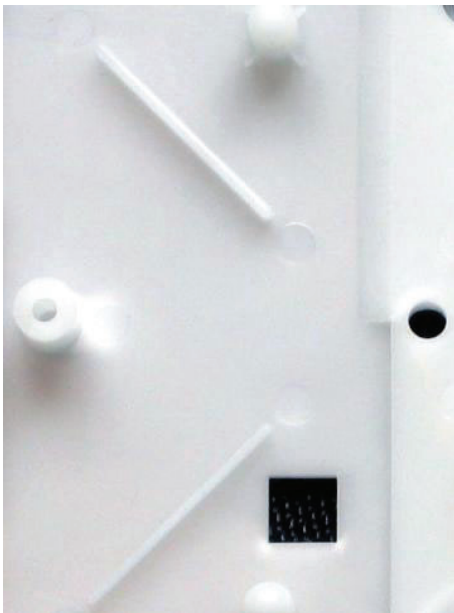


Bild 15.7 Auswerfermarkierungen

Index

Symbole

3D-Molding 234
3D-Spritzgießen 219

A

Abbau 101, 423, 445
Abbauerscheinungen 44, 98
Abkühlgeschwindigkeit 57f.
Ablagerungen 413, 428f.
Abstreifplatte 263
Additive 418, 447
Anguss
– anhaften des 411
Angussbuchse 248, 251, 424
Angussentfernung 277
Angusskegel 109, 247, 252
– heißer 253
– sekundäre 259
Angussrest 390
Angussysteme
– geometrisch ausbalancierte 129
– geometrisch nicht ausbalancierte 132
Angussvolumen 139
Angusszieher 250, 258, 411
Anschnitt 110, 267
Anschnittdurchmesser 283
Anschnittheizung 371
Anschnittkühlung 371
Anschnittöffnung 339
Anspritzpunkt 69
Ästhetik 393
Aufspannplatte 369

Ausblühen 413
Ausdehnung 378
Außenbeheizung 298
Auswerfen 248, 260
Auswerfermarkierungen 413
Auswerferstifte 260, 413, 448

B

Bagley-Korrektur 22
Balancierung 93, 130, 133f., 212, 215, 417, 424
– künstliche 136
Bandanschnitt 80, 270
Barrierestege 434
Bauteilgestaltung 71
Belüftung 413, 429
Bestandteile
– flüchtige 440
Biegebelastung 65
Biegefestigkeit 223
Bindenähte 69, 414
Blasenbildung 415
Brückenbildung 416

C

Cross-Modell 13

D

Dehnströmungen 59
Dekompression 317, 428, 439, 443
Delamination 417

Dichtring 383
 Dichtung 383
 Dichtwirkung 384
 Dilatant 15
 Direktanspritzung 268
 Dreiplatten-Kaltkanalwerkzeug 245, 263
 Dreiplattenwerkzeug 296
 Druck 67
 Druckabfall 266, 333
 Druckabweichung 283
 Druckaufbau 111, 157
 Druckgradient 426 f., 445 f.
 Druckverlauf 120
 Druckverlust 116 f., 201, 254, 300, 303,
 313 f., 440
 Druckverteilung 53, 134, 157, 395
 Düsenlänge 428, 436
 Düsenöffnung 411
 Düsenradius 249
 Düsen spitze 108, 411, 418, 428
 Düsens temperatur 213, 294, 329

E

Ebenenwechsel 307 f.
 Ecken 182, 311, 435
 Eigenspannungen 51, 62, 64, 76, 87, 230,
 394 f., 445
 Einfallstellen 52, 75, 404, 417
 Einfrieren 331
 Einspritzdruck 116, 294, 440
 Einspritzgeschwindigkeit 36, 209, 422 f.,
 434, 440, 444, 447
 Einspritzmenge 424
 Eintrübung 418
 Einzugszone 430, 439
 Energiebedarf 293
 Entgasungszylinder 435, 437
 Entlüftung 70, 258, 447
 Etagenwerkzeuge 216, 218, 294, 303

F

Fadenbildung 332
 Fadenziehen 419, 428

Familienwerkzeuge 143
 Farbabweichungen 419
 Farbmittel 419, 431
 Farbmittelanteil 420
 Farbverschiebung 419
 Farbverteilung 420
 Farbwechsel 200, 296, 300, 316 f., 389, 399
 Feuchtigkeit 418, 430, 436 f., 439, 447
 Filmanschnitt 272
 Filmscharniere 83, 431
 Filterdüse 390
 Filterdüsen 108
 Fließbremsen 86
 Fließfront 271, 422, 440
 Fließgeschwindigkeit 128, 134, 320
 Fließhilfen 86
 Fließkanaldurchmesser 127
 Fließkanalgeometrien 255
 Fließnaht 86, 95 f., 223
 Fließverzögerung 83, 93, 97, 398
 Fließwege 441
 Fließwegverhältnis 135
 Flocken 436
 Fluide
 - nicht-newtonsche 14 f.
 Formfaktor 254
 Formteillfüllung 440, 442
 Freistrahlbildung 70, 271, 397, 422
 Fülldruck 49 f., 128, 156
 Füllgeschwindigkeit 38, 92, 95, 155, 167,
 431
 Füllmuster 222
 Füllphase 425
 Füllvorgang 145, 447

G

Gasbildung 415
 Gaseinschlüsse 434
 Gasinjektionstechnik 224
 Gas-Innendruck-Spritzgießen 189
 Geruchsbildung 423
 Geschwindigkeitsprofil 23, 227
 Glanz 423
 Glanzunterschiede 419

Gleichgewicht 213
 Gratbildung 86, 134 f., 404, 423

H

Haarrissbildung 418, 425
 Hagen-Poiseuille-Gesetz 49
 Heiße Seite 381
 Heißkanaldüse 323 f., 419
 Heizbänder 359
 Heizelemente 357
 Heizpatrone 327, 360
 Heizwendeln 358
 Hinterschneidung 248, 263
 Homogenität 111
 Hot-Spots 417, 436
 Hydrolyse 444

I

iMARC 218
 Inbetriebnahme 380, 388
 Innenbeheizung 301
 Instandhaltung 295
 Instationäre Strömung 66

K

Kältebrücken 320
 Kalter Angusskegel 247
 Kalter Pfropfen 418
 Kaltkanalsysteme 254
 Kaltkanalwerkzeuge 245
 Kapillar-Rheometer 20
 Kaskadeninjektion 343
 Kernstifte 442
 Kernversatz 70, 177, 425
 Kohlenmonoxid 432
 Kompensationsphase 76, 333
 Kompensationsströmung 52
 Kompressibilität 18, 296
 Kompression 317
 Kompressionsdichtung 383
 Kompressionsphase 116
 Kompressionssitz 376

Kondensation 439
 Konstruktionsregeln 74
 Kontamination 431
 Korngröße 430
 Korrosion 428
 Kristallinität 446
 Kristallinitätsgrad 426 f., 438
 Kühlung 67, 94, 431, 447
 Kühlzeit 166
 Künstliche Balancierung 202

L

L/D-Verhältnis 420
 Leckage 373, 391
 Leckagen 295
 Leistungsdichte 361
 Lufteinschluss 439
 Lufteinschlüsse 81, 414 f., 441, 443
 Luftfeuchtigkeit 439
 Luftspalt 327
 Lunker 75, 414
 Lunkerbildung 52

M

Mahlgut 99, 246
 Mahlgutanteil 421
 Maschinendüse 107, 248
 Maßabweichungen 426 f.
 Massepolster 442
 Massetemperatur 228, 419, 436
 Maßhaltigkeit 51
 Materialabbau 44, 128, 300
 Materialeinzug 430
 Materialschwindung 61
 Materialwechsel 321, 388, 399
 Mehrfachwerkzeug 91, 113, 297
 MeltFlipper 214, 216, 224
 Messtoleranzen 286
 Molekularbewegung 55
 Molekulargewichtsabbau 444
 MuCell-Verfahren 224, 402

N

Nachdruck 438, 441f.
 Nachdruckphase 425
 Nachschwindung 426f.
 Nachtropfen 332, 428
 Narbenbildung 428

O

Oberflächengüte 428
 Öffnungshub 266, 293
 Orangenhaut 429
 Orientierung 58, 64, 66, 76, 87, 232, 394ff.,
 417, 445f.
 Orientierungen 227
 Orientierungsrichtung 66

P

Pfropfen
 – kalter 152, 439, 442
 Pfropfenfänger 250, 261
 PID-Regler 364
 Plastifiziereinheit 228
 Plastifizierung 111, 430
 Plastifizierzeit 448
 Positionierstift 252
 Potenzgesetz-Index 24
 Potenzgesetz-Modell 12
 Produktabweichungen 150
 Produktivität 196
 Prozessparameter 154
 Prüfstift 286
 Punktanschnitt 280, 328

Q

Quellströmung 10
 Querschnittsform 310

R

Rabinowitsch-Korrektur 23
 Regenerat 445

Regeneratanteil 420
 Reibungswärme 98
 Reihenanzordnung 92f., 141, 154
 Re, Reynoldszahl 8
 Rheologie 7
 Ringanschnitt 273
 Rippen 75
 Rissbildung 431
 Rohrheizkörper 359
 Rosafärbung 432
 Rückstromsperre 112, 427, 432, 435, 440,
 442

S

Schallplatteneffekt 433
 Schaum 194
 Scherbelastung 155, 161
 Schererwärmung 35
 Schergeschwindigkeit 10, 14, 100ff., 267
 Scherspannung 25, 60, 101f.
 Scherung 100
 Scherverdünnung 116
 Schirmanschnitt 274
 Schleierbildung 434
 Schlieren 435
 Schließeinheit 424
 Schließkraft 70, 112, 294, 424
 Schmelzeanzordnung 219
 Schmelzedruck 112, 185
 Schmelzeeigenschaften 199
 Schmelzefront 87
 Schmelzgleichgewicht 205
 Schmelzehomogenität 200
 Schmelzmenge 438
 Schmelzepolster 441
 Schmelze-Rotations-Technik 204, 208, 212,
 214, 224, 226, 231
 Schmelzesymmetrie 216
 Schmelzetemperatur 293, 424, 429, 434,
 444
 Schmelzeverteilung 106
 Schmelzeverteilungssystem 106
 Schmelzeverzögerung 134
 Schmelzindex 19

Schneckenauslegung 431, 434
 Schneckendrehzahl 421, 430
 Schneckenstege 430
 Schneckenverschleiß 436
 Schussgewicht 294, 440
 Schwindung 51, 55, 64, 66, 70, 95, 227, 230,
 394, 438, 445
 Seitenanschnitt 269, 352
 Siegelzeit 54, 295
 Silberschlieren 439
 Soft-Start 364, 388
 Spannungsrisssbildung 103
 Spezifisches Volumen 51
 Springbrunneneffekt 113
 Spritzgießsimulation 117f.
 Spritzgießteile
 – dickwandige 400
 Stangenanguss 268
 Statische Mischer 109, 200
 Staubanteil 436
 Staudruck 420, 430
 Stippen 436
 Strahlenbelastung 425, 431
 Strömungsgeschwindigkeit 49
 Strömungsgruppen 403, 407
 Strömungskanalquerschnitt 119
 Strömungsweg 77
 Strömungswinkel 211
 Strukturschäume 402
 Strukturschäumen 224
 Strukturviskosität 17
 Symmetrie 218

T

Teile
 – dünnwandige 400
 Temperaturbelastung 46
 Temperaturregelung 362, 369, 418f., 428,
 435, 439
 Temperaturregler 363
 Temperaturschwankungen 153
 Tempern 65
 Thermische Schwindung 51
 Thermoelemente 362

Toleranz 286
 Totzonen 108
 Trennebene 245, 263, 265, 303,
 423
 Trocknungstemperatur 416, 439
 Tunnelanschnitt 276
 – gebogener 278
 – innen liegender 280

U

Überlauf 281
 Übersetzungsverhältnis 111
 Übersicht 291
 Umschaltpunkt 433
 Ungleichgewichte 214, 226
 – scherinduziert 168
 – scherinduzierte 160
 Universalschnecke 111

V

Van-der-Waals-Kräfte 17
 Verbrennungen 428, 442f.
 Verdichtung 127
 Verdichtungsdruck 53, 332f.
 Verdichtungsgeschwindigkeit 433
 Verdichtungsphase 332
 Verdichtungszeit 158
 Verfahren 224
 Verfärbungen 70, 444
 Verformung 385
 Verschleiß 265, 340, 390, 428, 430, 440,
 442
 Verschlussdüse 338
 Versprödung 444
 Verstopfung 390
 Verunreinigung 436, 447
 Verunreinigungen 418, 423, 439
 Verweilzeit 44, 315, 320, 419, 436
 Verzug 51, 64, 86f., 95, 175, 227, 230f.,
 394f., 445f.
 Verzweigung 214
 Viskosität 14, 115, 314, 424, 441
 Viskositätsmodelle 12

Viskositätsverhalten
- newtonsches 14
- nicht-newtonsches 14
Volumenschwindung 55, 394, 397

W

Wanddicke 69, 417, 440 f., 446 f.
Wanddickenverteilung 73
Wärmeausdehnung 385
Wärmeleitung 35, 366
Wärmerohr-Technik 361
Wärmeverlust 366
Wärmeverteilung 361
Werkzeug
- anhaften im 411
Werkzeugablagerungen 447
Werkzeugbewegung 448

Werkzeugdurchbiegung 150 f., 181
Werkzeugentlüftung 44, 152, 442
Werkzeugfüllung
- ungleichmäßige 146
Werkzeugkühlung 151, 181, 298
Werkzeugoberfläche 429
Werkzeugreinigung 447
Werkzeugtemperatur 63, 116, 423, 429, 434,
444, 447

Z

Zwei-Komponenten-Spritzgießen 192, 224
Zweiplattenwerkzeug 296
Zykluszeit 128, 158, 167, 292, 447
Zylinder 440, 442
Zylinderdüse
- einfrieren der 418