

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	V
<b>1 Einleitung</b> .....	1
<i>Literatur zu Kapitel 1</i> .....	6
<b>2 Historie des Schaumspritzgießens</b> .....	7
<i>Literatur zu Kapitel 2</i> .....	13
<b>3 Physik des Schäumens</b> .....	15
3.1 Einphasige Polymer-Gas-Lösung .....	16
3.2 Nukleierung .....	18
3.3 Blasenwachstum .....	21
3.4 Stabilisierung .....	23
3.5 Fazit zur Physik des Schäumens .....	24
<i>Literatur zu Kapitel 3</i> .....	25
<b>4 Treibmittel</b> .....	27
4.1 Einleitung .....	27
4.2 Physikalische Treibmittel .....	28
4.3 Chemische Treibmittel .....	30
4.3.1 Bedeutung der Stoffklassen endotherm und exotherm .....	32
4.3.1.1 Exotherme Treibmittel .....	33
4.3.1.2 Endotherme Treibmittel .....	35
4.3.1.3 Kombinationen endothermer Treibmittel .....	36
4.3.1.4 Kombination aus endothermen und exothermen Treibmitteln ..	36
4.3.2 Charakterisierung von chemischen Treibmitteln .....	37
4.3.3 Pulver und Masterbatch, Aufbau eines Treibmittelsystems für das Spritzgießen .....	41
4.3.4 Produktion von Treibmittelmasterbatches .....	42
4.3.5 Auswirkungen chemischer Treibmittel auf das Endprodukt .....	43
<i>Literatur zu Kapitel 4</i> .....	44
<b>5 Matrixmaterialien</b> .....	45
5.1 Polypropylen .....	45
5.1.1 Dichtereduktion .....	50
5.1.2 Schwindung und Winkelverzug .....	50
5.1.3 Druckbedarf im Werkzeug .....	51
5.1.4 Zugversuch .....	52
5.1.5 Biegeversuch .....	54

---

5.1.6	Impactversuch.....	54
5.1.7	Schaumstruktur.....	57
5.1.8	Fazit zur Verarbeitung von Polypropylen im Schaumspritzgießverfahren	59
5.2	Technische Thermoplaste für das TSG-Verfahren .....	61
5.2.1	Werkstoff- und Treibmittelauswahl.....	62
5.2.2	Schaumspritzgießen von SAN/PC-Blends.....	63
5.2.2.1	Scherrheologie von SAN/PC-Blends.....	64
5.2.2.2	Struktur der SAN/PC-Integralschäume.....	68
5.2.2.3	Mechanische Eigenschaften der SAN/PC-Integralschäume .....	72
5.2.2.4	Zusammenfassung für geschäumte SAN/PC-Blends .....	76
5.2.3	Schaumspritzgießen von schlagzähmodifiziertem SAN (ABS) .....	77
5.2.4	Schaumspritzgießen von SAN-Nanokompositen.....	84
5.2.5	Schaumspritzgießen von PA 6-Nanokompositen.....	94
5.2.5.1	Schmelzerheologie von PA + CNF.....	95
5.2.5.2	Morphologie der PA 6 + CNF-Integralschäume .....	97
5.2.5.3	Mechanische Eigenschaften der PA + CNF-Integralschäume ..	100
	<i>Literatur zu Kapitel 5.....</i>	<i>101</i>
<b>6</b>	<b>Verfahrenstechnik .....</b>	<b>103</b>
6.1	Chemisches TSG-Verfahren .....	104
6.2	MuCell®-Verfahren.....	106
6.3	Ergocell®-Verfahren .....	110
6.4	Optifoam®-Verfahren.....	111
6.5	Schäumen mit Dekompression.....	112
6.6	Abgrenzung zu anderen Niederdrucktechniken .....	115
6.6.1	Fluidinjektionstechnik.....	115
6.6.2	Spritzprägen.....	117
6.7	Fazit zur Verfahrenstechnik .....	119
	<i>Literatur zu Kapitel 6.....</i>	<i>120</i>
<b>7</b>	<b>Verfahrensvergleich.....</b>	<b>121</b>
7.1	TSG-Verfahren mit chemischen Treibmitteln .....	122
7.1.1	Art und Konzentration des chemischen Treibmittels .....	122
7.1.2	Schmelzetemperatur .....	124
7.1.3	Einspritzgeschwindigkeit .....	125
7.1.4	Staudruck .....	127
7.1.5	Werkzeugtemperatur.....	128
7.1.6	Prozessstabilität.....	128
7.1.7	Oberflächenqualität .....	128
7.1.8	Fazit zum chemischen Schaumspritzgießen (TSG-CH).....	129
7.2	TSG-Verfahren mit physikalischer Begasung im Zylinder .....	130
7.2.1	Art und Konzentration des Treibfluids.....	130
7.2.2	Schmelzetemperatur .....	132
7.2.3	Einspritzgeschwindigkeit .....	134

7.2.4	Staudruck .....	135
7.2.5	Werkzeugtemperatur .....	136
7.2.6	Phänomenologische Beobachtungen .....	136
7.2.7	Fazit zum Schaumspritzgießen mit physikalischer Begasung im Zylinder .....	137
7.3	TSG-Verfahren mit physikalischer Begasung in der Düse .....	138
7.3.1	Konzentration des Treibfluids .....	138
7.3.2	Schmelztemperatur .....	140
7.3.3	Einspritzgeschwindigkeit .....	141
7.3.4	Phänomenologische Beobachtungen .....	141
7.3.5	Fazit zum Schaumspritzgießen im TSG-PD .....	142
7.4	Gegenüberstellung des chemischen und physikalischen TSG .....	143
7.4.1	Prozessführung .....	143
7.4.2	Formteileigenschaften .....	144
	<i>Literatur zu Kapitel 7</i> .....	144
<b>8</b>	<b>Mechanisches Verhalten</b> .....	145
8.1	Einführung .....	145
8.2	Strukturausbildung .....	146
8.3	Makroskopische Kennwertbeeinflussung .....	149
8.4	Bewertung der Kennwertabminderung – Zugbelastung .....	151
8.5	Bewertung der Kennwertabminderung – Biegebelastung .....	152
8.6	Spannungsverteilung .....	153
8.7	Leichtbaueffekt .....	154
8.8	Verallgemeinerte Modellvorstellung .....	156
8.9	Modellbildung zum Leichtbaueffekt .....	157
8.10	Konzept der effektiven Deckschichtdicke .....	159
8.11	Modellbildung zur effektiven Deckschichtdicke .....	161
8.12	Zugängliches Leichtbaupotenzial .....	162
8.13	Vorhersage von Steifigkeitskennwerten .....	163
8.14	Vorhersage von Festigkeitskennwerten .....	165
8.15	Einfluss von Füll- und Verstärkungsstoffen auf die Steifigkeit .....	165
8.16	Einfluss von Füll- und Verstärkungsstoffen auf die Festigkeit .....	168
8.17	Druckverformungsverhalten .....	169
8.18	Relevanz der Einflussgrößen .....	171
8.19	Mechanische Prüfung von Integralschaumstrukturen .....	172
8.20	Kennwertschwankungen .....	173
	<i>Literatur zu Kapitel 8</i> .....	174
<b>9</b>	<b>Einfluss des Spritzgießwerkzeugs beim Thermoplast-Schaumspritzgießen</b> .....	175
9.1	Formteilmgestaltung .....	176
9.1.1	Wanddicken, Wanddickensprünge .....	176
9.1.2	Rippen, Dome, Schnapphaken .....	179
9.1.3	Fließhindernisse .....	181

9.2	Angusssystem .....	182
9.2.1	Balancierung des Angusssystems .....	182
9.2.2	Angussbuchse .....	184
9.2.3	Anschnittarten .....	185
9.2.4	Lage der Anspritzpunkte .....	187
9.3	Temperierung beim Schaumspritzgießen .....	188
9.4	Entlüftung .....	190
9.5	Werkzeugmaterialien beim Schaumspritzgießen .....	191
9.6	Werkzeug-/verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Verbesserung der Oberflächenqualitäten geschäumter Bauteile .....	191
9.6.1	Ursachen der geringen Oberflächenqualitäten beim Schaumspritzgießen .....	191
9.6.2	Werkzeuginnendrucke beim Schaumspritzgießen .....	194
9.6.3	Verbesserung der Oberflächenqualitäten .....	194
9.6.4	Verwendung von Oberflächenstrukturierungen .....	195
9.6.5	Verwendung von Beschichtungen im Werkzeug .....	196
9.6.6	Variotherm-Verfahren .....	198
9.6.7	Fazit .....	198
	<i>Literatur zu Kapitel 9</i> .....	199
<b>10</b>	<b>Sondertechnologien</b> .....	201
10.1	MuCell®-Verfahren mit statischem Mischer .....	201
10.2	Atmende Werkzeuge .....	202
10.3	Optimierung der Oberfläche .....	207
10.3.1	Verfahrenstechnische Oberflächenverbesserung geschäumter Formteile	208
10.3.1.1	Gasgegendruck .....	209
10.3.1.2	Variotherm .....	210
10.3.1.3	Zusammenfassung zur verfahrenstechnischen Oberflächenverbesserung .....	211
10.3.2	Dekor-Hinterspritzen .....	211
10.3.3	Wärmebarriere .....	213
	<i>Literatur zu Kapitel 10</i> .....	214
<b>11</b>	<b>Anwendungsbeispiele</b> .....	215
	<b>Abkürzungen und Formelzeichen</b> .....	221
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	231