

Inhalt

Vorwort **XV**

Die Autorinnen und Autoren **XVII**

Der Herausgeber. XVII

Die Mitverfasserinnen und Mitverfasser. XVIII

1 Einleitung **1**

Dr. Ruben Schlutter

1.1 Mögliche Fehler an Formteilen. 2

1.2 Ableitung eines Lasten- und Pflichtenheftes. 4

1.3 Literatur 7

2 Werkzeugstähle und deren Beschichtbarkeit **9**

Markus Pothmann

2.1 Einführung in Werkzeugstähle. 9

2.1.1 Definition von Werkzeugstählen 9

2.1.2 Entwicklung der Werkzeugstähle. 10

2.1.3 Arten von Werkzeugstählen 10

2.1.4 Faktoren, die die Materialauswahl
bei Spritzguss-Werkzeugstählen beeinflussen 12

2.1.5 Herausforderungen bei der Auswahl
von Spritzguss-Werkzeugstählen 13

2.1.6 Zukünftige Entwicklung von Spritzguss-Werkzeugstählen. 13

2.2 Eigenschaften von Werkzeugstählen 15

2.2.1 Einführung in Spritzguss-Werkzeugstähle 15

2.2.2 Eigenschaften von Spritzguss-Werkzeugstählen 16

2.2.3	Zusammensetzung von Spritzguss-Werkzeugstählen	17
2.2.4	Wärmebehandlung von Spritzguss-Werkzeugstählen	20
2.2.5	Oberflächenbehandlung von Spritzguss-Werkzeugstählen	22
2.2.6	Wartung und Pflege von Spritzguss-Werkzeugstählen	23
2.3	Auswahl von Spritzguss-Werkzeugstählen	25
2.4	Literatur	28
3	Grundlagen der Beschichtungstechnologien	29
3.1	Elektrolytisch abgeschiedene metallische Schichten und Hybridsysteme . . .	29
	<i>Dr. Orlaw Massler</i>	
3.1.1	Hintergrund und Herausforderungen	29
3.1.2	Galvanische Schichten	30
	3.1.2.1 Herausforderungen und Maßnahmen	32
3.1.3	Außenstromlose Abscheidung	34
	3.1.3.1 Außenstromlose Beschichtung, chemisch Nickel	34
	3.1.3.2 Prinzip chemisch Vernickeln	34
	3.1.3.3 Chemisch Nickel-Schichten mit festen Zusätzen (Dispersion)	35
	3.1.3.4 Spezialfall Dispersionsschichten	35
	3.1.3.5 Reibwerterhöhende Schichten	36
	3.1.3.6 Sensor- und Indikatorschichten	36
3.1.4	Beladungstypen	37
3.1.5	Beschichtungsgerechte Konstruktion	37
3.1.6	Literatur	39
3.2	Physikalische Gasphasenabscheidung	41
	<i>Dr. Ruben Schlutter</i>	
3.2.1	Einleitung	41
3.2.2	Verfahrensvarianten	41
	3.2.2.1 Bedampfen	42
	3.2.2.2 Sputtern	44
	3.2.2.3 Ionenplattieren	45
3.2.3	Schichtwachstum und Haftungsmechanismen bei PVD-Beschichtungen	46
3.2.4	Mehrlagige Schichtsysteme	50
3.2.5	Literatur	51

3.3	Chemische Gasphasenabscheidung	53
3.3.1	Metallorganische chemische Gasphasenabscheidung	53
	<i>Vanessa Frettlöh</i>	
3.3.1.1	Einordnung der Technologie	53
3.3.1.2	Abläufe während der MOCVD-Beschichtung.	54
3.3.1.3	Anforderungen an metallorganische Precursoren	56
3.3.1.4	Aufbau einer MOCVD-Anlage	58
3.3.1.5	Spaltgängigkeit und 3D-Fähigkeit der Beschichtungen	59
3.3.1.6	Literatur.	63
3.3.2	Feststoffbasierte chemische Gasphasenabscheidung.	65
	<i>Dr. Ruben Schlutter</i>	
3.3.2.1	Grundlagen der CVD mit festen Precursoren	65
3.3.2.2	Förderung des festen Precursors	69
3.3.2.3	Literatur.	72
3.3.3	Plasmabasierte chemische Gasphasenabscheidung.	74
	<i>Patrick Engemann</i>	
3.3.3.1	Plasmen	74
3.3.3.2	Plasma Activated Chemical Vapor Deposition.	75
3.3.3.3	Literatur.	77
3.3.4	Precursoren – Moleküle als Vorstufen für Funktionswerkstoffe	78
	<i>Prof. Dr. Sanjay Mathur, Dr. Veronika Brune, Dr. Thomas Fischer</i>	
3.3.4.1	Chemische Strategien in der Materialsynthese.	81
3.3.4.2	Ausblick.	92
3.3.4.3	Danksagung	94
3.3.4.4	Literatur.	94
3.4	Simulation der Schichtabscheidung.	99
	<i>Ameya Kulkarni</i>	
3.4.1	Einleitung	99
3.4.2	Theoretische Grundlagen und Versuchsaufbau	101
3.4.3	Die Zustandsgleichungen	104
3.4.4	Versuchsdurchführung und -ergebnisse	105
3.4.5	Ergebnisse der Simulationen	107
3.4.6	Schlussfolgerung	112
3.4.7	Literatur	113

4	Messtechnik zur Schichtcharakterisierung	115
4.1	Kalottenschliff	115
	<i>Dr. Ruben Schlutter</i>	
4.1.1	Bestimmung der Schichtdicke	116
4.1.2	Bestimmung der Verschleißfestigkeit	119
4.1.3	Literatur	121
4.2	Rasterelektronenmikroskopie	122
	<i>Dr. Ruben Schlutter</i>	
4.2.1	Einleitung	122
4.2.2	Geräteaufbau	124
4.2.3	Vorbereitung der Probe	129
4.2.4	Sensoren in einem Rasterelektronenmikroskop	130
4.2.4.1	SE-Sensor	130
4.2.4.2	UVD-Sensor	131
4.2.4.3	BSE-Sensor	132
4.2.4.4	EDX-Sensor	136
4.2.5	Literatur	141
4.3	Lasermikroskopie	143
	<i>Dr. Stefan Svoboda</i>	
4.3.1	Grundprinzip	143
4.3.2	Aufnahme eines Bildes	144
4.3.3	Anwendungsbeispiele	150
4.3.3.1	Rissnetzwerk in Sol-Gel-Schicht	150
4.3.3.2	Darstellung und Auswertung eines Kalottenschliffes	152
4.3.3.3	Rauheitsmessung an einer Kunststoffprobe	153
4.3.3.4	Auswertung Verschleißprüfung	154
4.3.4	Literatur	155
4.4	Weißlichtinterferometrie	156
	<i>Dr. Andreas Balster</i>	
4.4.1	Einleitung	156
4.4.2	Rauheit als Messgröße	157
4.4.3	Weißlichtinterferometrie	160
4.4.3.1	Messprinzip der Weißlichtinterferometrie	160

4.4.3.2	Anwendungen der Weißlichtinterferometrie	163
4.4.3.3	Einschränkungen der Weißlichtinterferometrie	165
4.4.4	Literatur	165
4.5	Infrarotspektroskopie	166
	<i>Dr. Andreas Balster</i>	
4.5.1	Einleitung	166
4.5.2	Physikalische Grundlagen.	166
4.5.3	Die Anwendung der FTIR-Spektroskopie bei Polymeren: Materialidentifizierung	169
4.5.4	Identifizierung und Strukturaufklärung	171
4.5.5	Quantifizierung von Komponenten	174
4.5.6	Messtechnische Aspekte der FTIR-Spektroskopie	175
4.5.7	ATR-FTIR-Spektroskopie	176
4.5.8	Anwendungsbereich in der Werkzeugtechnik	178
4.5.9	Literatur	179
4.6	Röntgenfluoreszenzanalyse	181
	<i>Dr. Martin Ciaston</i>	
4.6.1	Einleitung	181
4.6.2	Physikalische Grundlagen der Röntgenfluoreszenz.	181
4.6.3	Instrumentelle Aspekte der Röntgenfluoreszenzspektroskopie	184
4.6.4	Anwendungen der Röntgenfluoreszenzspektroskopie in der Materialanalyse	186
4.6.5	Quantitative Aspekte der Röntgenfluoreszenzspektroskopie	187
4.6.6	Zusammenfassung und Ausblick	189
4.6.7	Literatur	191
4.7	Elektrochemische Impedanzspektroskopie.	192
	<i>Dr. Anatoliy Batmanov</i>	
4.7.1	Einleitung	192
4.7.2	Grundlagen der EIS	194
4.7.3	Darstellung der EIS-Messergebnisse	199
4.7.4	EIS-Untersuchung von Schutzschichten	200
4.7.5	Der Versuchsaufbau für eine EIS-Messung.	205
4.7.6	Schlussfolgerung	206
4.7.7	Literatur	207

4.8	Nanoindentation.	209
	<i>Dr. Ruben Schlutter</i>	
4.8.1	Einleitung	209
4.8.2	Versuchsaufbau bei der Messung mittels Nanoindenter	211
4.8.3	Gängige Prüfverfahren	215
4.8.3.1	Bestimmung der Eindringhärte	215
4.8.3.2	Bestimmung des Eindringmoduls.	218
4.8.3.3	Bestimmung des Eindringkriechens	219
4.8.3.4	Bestimmung der Eindringrelaxation	220
4.8.3.5	Bestimmung des plastischen und elastischen Anteils der Eindringarbeit	220
4.8.4	Prüfverfahren für Schichten	221
4.8.4.1	Eindringmodul der Schicht	224
4.8.4.2	Eindringhärte der Schicht	225
4.8.5	Literatur	227
4.9	Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Beschichtungen	228
	<i>Patrick Engemann</i>	
4.9.1	Einfluss der Werkzeugwandtemperatur auf den Spritzgussprozess . .	228
4.9.2	Kontakttemperatur.	229
4.9.3	Time Domain Thermoreflectance (TDTR)	230
4.9.4	3-Omega	231
4.9.5	Versuchsaufbau zur Messung der Kontakttemperatur	233
4.9.6	Versuchsdurchführung zur Messung der Kontakttemperatur	234
4.9.7	Literatur	236
4.10	Bestimmung der Entformungskraft beim Spritzgießen.	238
	<i>Dr. Ruben Schlutter</i>	
4.10.1	Einleitung	238
4.10.2	Stand der Technik	238
4.10.3	Versuchsaufbau zur Bestimmung der Haft- und Gleitreibung	240
4.10.3.1	Versuchsaufbau	241
4.10.3.2	Versuchsdurchführung	243
4.10.3.3	Qualifizierung des Spritzgießwerkzeuges im Dauerversuch	244
4.10.4	Zusammenfassung	246
4.10.5	Literatur	246

4.11	Bestimmung der Emissionen in der Kunststoffverarbeitung	248
	<i>Dr. Andreas Balster, Matthias Korres</i>	
4.11.1	Einleitung	248
4.11.2	Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC/MS)	248
4.11.3	Emissionsbildung in der Kunststoffverarbeitung	256
4.11.4	Prozessabhängige Emissionsbildung	257
	4.11.4.1 Materialtrocknung	257
	4.11.4.2 Materialverarbeitung	260
4.11.5	Zusammenfassung	265
4.11.6	Literatur	266
4.12	Verschleißuntersuchungen in der Kunststoffverarbeitung	267
	<i>Marko Gehlen</i>	
4.12.1	Einleitung	267
4.12.2	Definition von Verschleiß	267
4.12.3	Die Bedeutung von Verschleiß für die Industrie	268
4.12.4	Stand der Technik und Messverfahren	269
4.12.5	Verschleiß beim Spritzguss und im Spritzgießwerkzeug	271
4.12.6	Untersuchung des Verschleißverhaltens im Spritzguss	271
4.12.7	Ausblick	274
4.12.8	Zusammenfassung	275
4.12.9	Literatur	275
4.13	Haftungsbewertung von Beschichtungen	277
	<i>Dr. Orlaw Massler</i>	
4.13.1	Rockwelltest, DIN EN ISO 4856	279
4.13.2	Thermoschocktest	280
4.13.3	Feiltest	281
4.13.4	Querschlifffmethode	281
4.13.5	Literatur	282
5	Anwendung funktioneller Schichten	283
5.1	Hartstoffschichten	283
	<i>Marko Gehlen</i>	
5.1.1	Einleitung	283
5.1.2	Definition und Eigenschaften einer Hartstoffschicht	283
5.1.3	Einsatzgebiete	284

5.1.4	Voraussetzungen und Schichtaufbau	284
5.1.5	Verfahren zum Aufbringen von Hartstoffschichten	285
5.1.6	Kennwerte zur Bewertung der Verschleißfestigkeit	286
5.1.7	Erzielte Abriebvergleichswerte und Härten	287
5.1.8	Zusammenfassung	288
5.1.9	Literatur	289
5.2	Tribologische Schichten und Verschleißschutzschichten	290
	<i>Dr. Orlaw Massler</i>	
5.2.1	Anforderungen an Verschleißschutz und Reibung	290
5.2.1.1	Abrasiver Verschleiß	290
5.2.1.2	Adhäsiver Verschleiß	290
5.2.1.3	Ermüdungverschleiß	290
5.2.1.4	Tribooxidation	291
5.2.1.5	Reibungsreduktion	291
5.2.2	Galvanische Beschichtungen	292
5.2.2.1	Hartverchromung	292
5.2.2.2	Vernickelung	294
5.2.3	Chemisch Nickel und Dispersionsschichten	294
5.2.3.1	Dispersionsschichten	295
5.2.3.2	SiC-Dispersionsschichten	295
5.2.3.3	BC-Dispersionsschichten	296
5.2.3.4	hBN-Dispersionsschichten	296
5.2.4	Tribologische PVD- und PACVD-Beschichtungen	296
5.2.5	Hybridschichten	297
5.2.5.1	Ni-Cr-Hybrid	298
5.2.5.2	Plasmanitrieren – PVD – DLC	299
5.2.5.3	Chemisch Ni-DLC-Hybridschichten	299
5.2.5.4	Ni-SiC-DLC-Hybridschicht	299
5.2.6	Literatur	299
5.3	Korrosionsschutzschichten	300
	<i>Dr. Anatolij Batmanov</i>	
5.3.1	Definition der Korrosion	300
5.3.2	Grundsätzliche Strategien zur Vermeidung der Korrosion	302

5.3.3	Anforderungen an Korrosionsschutzschichten	303
5.3.4	Entwicklung einer Korrosionsschutzschicht gegen Heißgaskorrosion	307
5.3.5	Entwicklung einer Korrosionsschutzschicht gegen wässrige Korrosion	310
5.3.6	Literatur	312
5.4	Thermische Barrierschichten <i>Vanessa Frettlöh</i>	313
5.4.1	Verständnis einer thermischen Barrierschicht.	313
5.4.2	Einfluss der Temperatur im Spritzgussprozess	313
5.4.3	Anwendung und Eigenschaften von thermischen Barrierschichten.	316
5.4.4	Funktionsweise thermischer Barrierschichten.	317
5.4.5	Anwendung thermischer Barrierschichten im Spritzgießprozess . .	319
5.4.6	Einsatz thermischer Barrierschichten im Dünnwandspritzguss . .	322
5.4.7	Literatur	325
5.5	Beschichtungen zur Belagsreduzierung <i>Mattias Korres</i>	328
5.5.1	Einführung	328
5.5.2	Belag im Spritzgießwerkzeug.	329
5.5.3	Prozessoptimierung.	332
5.5.4	Optimierung des Spritzgießwerkzeuges	334
5.5.5	Beschichtungen zur Belagsreduzierung	335
5.5.6	Literatur	337
5.6	Beschichtungen zur Entformungskraftreduzierung. <i>Dr. Ruben Schlutter</i>	338
5.6.1	Einleitung	338
5.6.2	Stand der Technik	338
5.6.3	Anwendungsmöglichkeiten und Potentiale.	343
5.6.3.1	Werkstoffauswahl des thermoplastischen Werkstoffs	343
5.6.3.2	Zugaben von Additiven	343
5.6.4	Modifizierung der Kavitätsoberfläche	344
5.6.5	Zusammenfassung.	346
5.6.6	Literatur	346

5.7	Dünnschichtsensorik	348
	<i>Dr. Angelo Librizzi</i>	
5.7.1	Einleitung	348
5.7.2	Stand der Technik – Werkzeugsensorik	349
5.7.2.1	Druckmessung im Spritzgießwerkzeug	349
5.7.2.2	Temperaturmessung im Spritzgießwerkzeug	351
5.7.3	Messprinzip für temperatursensitive Dünnschichten	354
5.7.4	Schichtaufbau	355
5.7.5	Schichtherstellung	356
5.7.6	Charakterisierung des thermoelektrischen Verhaltens der Dünnschichtsensoren	360
5.7.7	Berechnung der Ansprechdynamik	361
5.7.8	Sensorintegration und Anwendung in einem Spritzgießwerkzeug ..	362
5.7.9	Zusammenfassung	365
5.7.10	Literatur	366
5.8	Heizschichten	367
	<i>Dr. Martin Ciaston</i>	
5.8.1	Einleitung	367
5.8.2	Grundlagen der konturnahen Heizschichten	367
5.8.3	Anforderungen an ein Schichtsystem für eine Anwendung als Heizleiter im Spritzgießverfahren	369
5.8.4	Anwendung von Heizschichten in Spritzgießprozessen	369
5.8.5	Zusammenfassung und Ausblick	370
5.8.6	Literatur	371
	Index	373