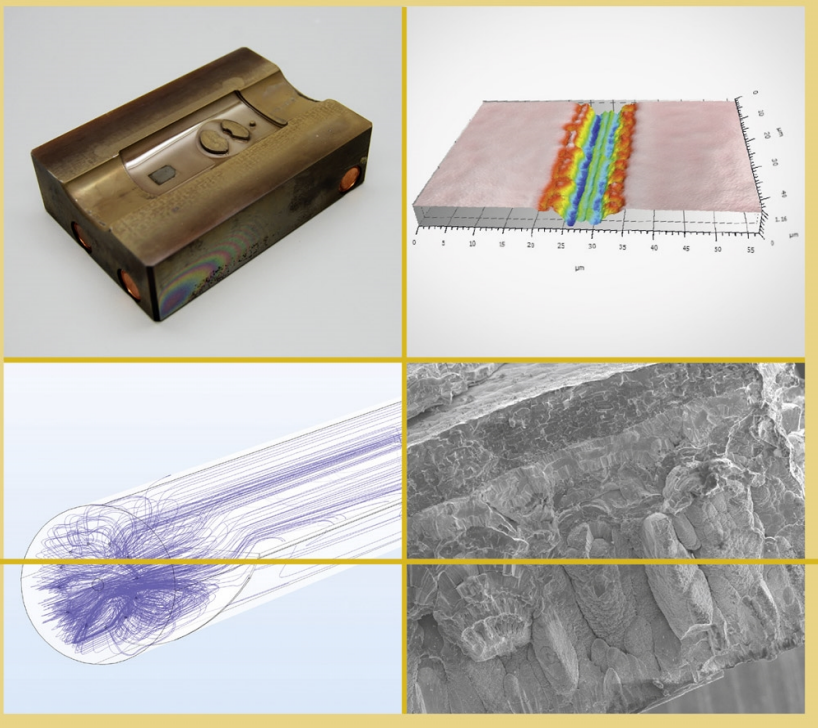


Ruben Schlutter

Beschichtungs- technologien für Spritzgießwerkzeuge



HANSER

Schlutter
**Beschichtungstechnologien
für Spritzgießwerkzeuge**



Bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Die Internet-Plattform für Entscheider!

Exklusiv: Das Online-Archiv der Zeitschrift Kunststoffe!

Richtungsweisend: Fach- und Brancheninformationen
stets top-aktuell!

Informativ: News, wichtige Termine, Bookshop, neue
Produkte und der Stellenmarkt der Kunststoffindustrie

Kunststoffe.de

Ruben Schlutter

Beschichtungs- technologien für Spritzgießwerkzeuge

HANSER



Print-ISBN: 978-3-446-47512-0

E-Book-ISBN: 978-3-446-47815-2

Alle in diesem Werk enthaltenen Informationen, Verfahren und Darstellungen wurden zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nach bestem Wissen zusammengestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Werk enthaltenen Informationen für Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Weise aus der Benutzung dieser Informationen – oder Teilen davon – entsteht. Ebenso wenig übernehmen Autor:innen, Herausgeber:innen und Verlag die Gewähr dafür, dass die beschriebenen Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt also auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benützt werden dürften.

Die endgültige Entscheidung über die Eignung der Informationen für die vorgesehene Verwendung in einer bestimmten Anwendung liegt in der alleinigen Verantwortung des Nutzers.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet unter <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Werkes, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 UrhG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2024 Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Dr. Mark Smith

Herstellung: Cornelia Speckmaier

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Covergestaltung: Max Kostopoulos

Titelmotiv: © KIMW-Forschungs GmbH

Satz: le-tex publishing services GmbH, Leipzig

Druck: CPI Books GmbH, Leck

Printed in Germany

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 <i>Dr. Ruben Schlutter</i> | 115 |
| 4.1.1 | Bestimmung der Schichtdicke | 116 |
| 4.1.2 | Bestimmung der Verschleißfestigkeit | 119 |
| 4.1.3 | Literatur | 121 |
| 4.2 | Rasterelektronenmikroskopie <i>Dr. Ruben Schlutter</i> | 122 |
| 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 <i>Dr. Stefan Svoboda</i> | 143 |
| 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 <i>Dr. Andreas Balster</i> | 156 |
| 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 |

Vorwort

Kunststoffformteile müssen zunehmend immer höhere Anforderungen erfüllen. Dabei ist es unerheblich, ob sich diese Anforderungen auf das Formteil selbst beziehen, wie bspw. eine geringere Wanddicke, eine erhöhte Fließweglänge oder das Kaschieren von Bindenähten oder auf den verwendeten Werkstoff, wie die Verwendung von Verstärkungsstoffen oder aggressiven Additiven oder den Spritzgießprozess, wie eine Reduzierung der Zykluszeit oder eine Steigerung der Losgröße. Zur Erfüllung dieser Anforderungen müssen auch die Spritzgießwerkzeuge immer weiter optimiert und ausgereizt werden. Neben der Verwendung hochqualitativer Werkstoffe stellen Beschichtungen eine Möglichkeit dar, um die notwendigen Funktionalisierungen zu erreichen.

Die Beschichtung von metallischen Werkstoffen kann dabei auf unterschiedliche Arten erfolgen und stellt eine Kernkompetenz der gemeinnützigen KIMW-Forschungs-GmbH dar. Problematisch ist dabei immer die Darstellung des aktuellen Stands der Wissenschaft und Technik. Ein tiefgreifendes Wissen über die Prozesstechnik zur Abscheidung von Beschichtungen, aber auch die zur Validierung der Schichteigenschaften ist notwendig, um hochwertige Beschichtungen zu erzeugen. Über mehrere Jahre mussten Erfahrungen gesammelt werden, welche Eigenschaften durch Beschichtungen realisierbar sind, wie geeignete Schichten appliziert und auch untersucht werden können. Dabei mussten die notwendigen Informationen oftmals aus vielen, häufig nicht öffentlich zugänglichen Fachartikeln gewonnen werden. Diese behandeln in der Regel spezielle Anwendungen, die nicht direkt auf die Werkzeugtechnik übertragbar sind. Die Autoren sind meistens Chemiker, Physiker oder Experten auf dem Bereich der Beschichtungstechnik, sodass die Fachartikel für Ingenieure zumeist schwer zu verstehen und nachzuvollziehen sind. Es fehlt ein Nachschlagewerk, welches die relevanten Beschichtungstechnologien für Spritzgießwerkzeuge und Untersuchungsverfahren zur Charakterisierung der Beschichtungen adäquat zusammenfasst.

Aus dieser Motivation heraus ist der Gedanke entstanden, das bei der gemeinnützigen KIMW-Forschungs-GmbH vorhandene Wissen in einem Buch zu kanalisieren und in einem Grundlagenwerk zugänglich zu machen. Das Resultat ist ein Leit-

faden, der die relevanten Informationen der Beschichtungstechnologie in einem für Ingenieure verständlichen Umfang zusammenfasst.

Das Fachbuch schlägt einen Bogen über die verschiedenen Kapitel und behandelt die relevanten Aspekte der Beschichtungstechnologien. Zu Beginn werden die verschiedenen Möglichkeiten zum Abscheiden von Beschichtungen im Hinblick auf die Anwendung in Spritzgießwerkzeugen diskutiert. Die Möglichkeiten zur Charakterisierung der abgeschiedenen Beschichtungen schließen sich an. Dabei werden die verschiedenen Messverfahren explizit auf ihre Anwendungsmöglichkeiten zur Bewertung der Eigenschaften vergleichsweise dünner Beschichtungen im Umfeld des Werkzeug- und Formenbaus vorgestellt. Abgeschlossen wird das Buch mit verschiedenen Anwendungen funktioneller Beschichtungen in Spritzgießwerkzeugen und vermittelt dem Leser einen Eindruck über die Einsatzmöglichkeiten. Zudem wird der Leser in die Lage versetzt, die für seine Anwendung am besten geeignete Beschichtung und das daraus resultierende Abscheidungsverfahren auszuwählen.

Ich möchte mich herzlich bei allen Personen bedanken, die zum Gelingen dieses Buches beigetragen haben, im Speziellen bei Rebecca Wehrmann und Dr. Mark Smith für die Übernahme des Lektorates und ihre Geduld bei der Erstellung des vorliegenden Buches.

Außerdem möchte ich mich allen Autoren für die Bereitstellung der jeweiligen Kapitel bedanken, die das vorliegende Fachbuch inhaltlich mit Leben füllen und die selbst die hochkomplexen Sachverhalte gut verständlich aufbereitet haben. Abschließend möchte ich mich für Ihre Geduld mit mir bedanken.

Lüdenscheid, 2023

Ruben Schlutter

Die Autorinnen und Autoren

■ Der Herausgeber

Dr. Ruben Schlutter



Dr. Ruben Schlutter ist als selbstständiger Dozent in der Aus- und Weiterbildung im Bereich der Kunststofftechnik und Simulation tätig. Er lehrt vorrangig die Fächer Spitzgießsimulation, strukturmechanische Simulation und Konstruieren mit Kunststoffen/Formteileauslegung. Nach seinem Maschinenbaustudium mit dem Schwerpunkt Produktentwicklung und Konstruktion an der Hochschule Schmalkalden promovierte er in einer kooperativen Promotion zwischen der Technischen Universität Chemnitz und der Hochschule Schmalkalden

bei Prof. Dr. Michael Gehde und Prof. Dr. Thomas Seul im Themengebiet der Druckverlustanalyse in der Spritzgießsimulation. Nach der Promotion wechselte er an das Kunststoff-Institut für die mittelständische Wirtschaft in Lüdenscheid. Dort hat er verschiedene Forschungs- und Entwicklungsprojekte, wie die Internationalisierung des bestehenden Netzwerkes oder Spitzgießen im Umfeld der Industrie 4.0 (MONSOON) betreut. Im Jahr 2018 wechselte er in die gemeinnützige Forschungs-GmbH und betreute Projekte über die Herstellung und Verwendung biozider Nanopartikel und die Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens zur qualitativen Beurteilung der Schaumstruktur von Kunststoffformteilen. Parallel engagierte sich Dr. Schlutter in den Weiterbildungsangeboten des Kunststoff-Instituts für die mittelständische Wirtschaft in den Schwerpunkten Form- und Lagetoleranzen, kunststoffgerechte Formteileauslegung und Kunststofftolerierung nach ISO 20 457. Seit 2022 ist er selbstständiger Dozent und Mitglied des Verbands deutscher Werkzeug- und Formenbauer (VDWF).

■ Die Mitverfasserinnen und Mitverfasser

Dr. Andreas Balster



Herr Dr. Andreas Balster promovierte 2001 an der Ruhr-Universität Bochum in organischer Chemie und arbeitete seit 2002 am Kunststoff-Institut für die mittelständische Wirtschaft (KIMW NRW GmbH) in Lüdenscheid. Dort leitete er unter anderem die Abteilung für Material- und Schadensanalyse, das Polymer Training Centre (PTC) und das Deutsche Institut für Ringversuche (DIR), bevor er 2023 als Leiter des Analytiklabors zur pro3dure medical GmbH in Iserlohn wechselte. Dr. Balster ist seit 2008 freiberuflicher Dozent der FH Südwestfalen und lehrte 2020 und 2021 online an der Frankfurt University of Applied Sciences. Von 2015-2022 war er aktives Mitglied des DIN-Normenausschusses Kunststoffe (FNK), Fachbereich NA 054-01-03 AA Physikalische, rheologische und analytische Prüfungen.

Dr. Anatoliy Batmanov



Herr Dr.-Ing. Anatoliy Batmanov studierte Halbleitertechnologie an der Nationalen Universität „Lwiwer Polytechnika“ in der Ukraine. Anschließend promovierte er an der Universität Magdeburg zum Thema „Entwurf, Modellierung, Optimierung und Herstellung von Hochfrequenz mikroelektromechanischen Schaltern und koplanaren Filtern“. Herr Dr.-Ing. Batmanov ist seit 20 Jahren im Bereich der Abscheidungstechnologien von dünnen Schichten verschiedener Art mittels CVD und PVD tätig. Seit 2019 arbeitet er als Projektmanager in der KIMW Forschungs-GmbH in der Abteilung Beschichtungstechnik.

Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH
Lutherstraße 7
58 507 Lüdenscheid



Dr. Veronika Brune

Frau Dr. Veronika Brune ist Post-Doktorandin und als wissenschaftliche Mitarbeiterin mit Lehrauftrag am Institut für Anorganische Chemie der Universität zu Köln am Lehrstuhl von Herrn Prof. Sanjay Mathur für Anorganische und Materialchemie angestellt. Sie ist für den Bereich der Synthese von molekularen Vorstufenmolekülen (Precursoren) für Gasphasenabscheidungen zuständig. Nach ihrem Chemiestudium an der Universität zu Köln promovierte sie unter der Leitung von Prof. Dr. Dr. (h.c.) Sanjay Mathur an der Universität zu Köln. Ihr Forschungsinteresse liegt in der durch chemisches spezielles Design metallchalkogenidischer Vorstufenmoleküle für Gasphasenmethoden zugänglich gemacht werden.



Institut für Anorganische Chemie
Universität zu Köln
Greinstr. 6
50 939 Köln

**Dr. Martin Ciaston**

Herr Dr. Martin Ciaston, geboren 1981, ist ein hochqualifizierter Wissenschaftler mit einem starken Hintergrund in der analytischen Chemie. Er ist derzeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH in der Projektleitung tätig. Herr Ciaston ist dort für die Entwicklung von Prozess- und Anlagentechnik in der MOCVD verantwortlich und hat innovative Beschichtungen für Spritzgießwerkzeuge entwickelt und charakterisiert. Er ist ein erfahrener Analytiker und hat bereits diverse Prüfmethoden entwickelt und validiert.

Herr Ciaston hat eine beeindruckende akademische Laufbahn absolviert, einschließlich seiner Promotion am Thünen-Institut in Braunschweig, wo er sich mit der katalytischen Derivatisierung von Itaconsäure für die Polyestersynthese beschäftigte. Während seiner Zeit als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Thünen-Institut hat er chemisch-katalytische Verfahren zur Herstellung und Modifizierung biobasierter Monomere aus Fermentationsprodukten entwickelt und dabei heterogene Katalysatoren in kontinuierlich betriebenen Festbettreaktoren und absatzweise betriebenen Rührkesselreaktoren hergestellt und eingesetzt. Zu diesem Zweck hat er geeignete analytische Methoden entwickelt und anschließend Poly-

mere aus den hergestellten/modifizierten Monomeren synthetisiert und charakterisiert. Herr Ciaston hat einen Diplomabschluss in Chemie von der Technischen Universität Braunschweig und hat sich in seiner Diplomarbeit bei der Volkswagen AG mit der Eignung von Polymeren und amorphen Kohlenstoffen für die Implementierung in Lithium-Ionen-Zellen als Beschichtungsmaterial für Temperatur- und Drucksensorik beschäftigt.

Patrick Engemann



Herr Patrick Engemann absolvierte zunächst eine Ausbildung als Werkzeugmechaniker und studierte anschließend an der Fachhochschule Südwestfalen Fertigungstechnik. Nach Abschluss des Bachelor of Engineering an der Fachhochschule setzte Herr Engemann sein Studium an der Bergischen Universität Wuppertal im Bereich Maschinenbau fort. Seit 2017 ist Herr Engemann bei der Gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH angestellt und beschäftigt sich dort schwerpunktmäßig mit der Weiterentwicklung der Werkzeugtemperierung für Spritzgusswerkzeuge und der CVD-Anlagentechnik auseinander.

Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH
Lutherstraße 7
58 507 Lüdenscheid



Dr. Thomas Fischer



Herr Dr. Thomas Fischer ist akademischer Rat am Institut für Anorganische Chemie der Universität zu Köln und ist am Lehrstuhl für Anorganische und Materialchemie für die Gasphasenbeschichtungstechnologien verantwortlich. Nach seinem Chemiestudium der Chemie an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg promovierte er bei Prof. Dr. Dr. (h. c.) Sanjay Mathur an der Universität zu Köln. Sein Forschungsinteresse gilt der Entwicklung neuer Gasphasenbeschichtungsmethoden und in operando Untersuchungen der dabei auftretenden Gasphasen- und Oberflächenreaktionen. Zusammen mit Herrn Prof. Mathur gründete er das Steinbeis Technologietransferunternehmen „Materials Alliance Cologne“. Als Mitglied des Nachhaltigkeitsrates der Universität zu Köln ist Herr Dr. Fischer für

den Teilbereich Nachhaltige Forschung verantwortlich und er ist aktives Mitglied der American Ceramic Society (USA).

Institut für Anorganische Chemie
Universität zu Köln
Greinstr. 6
50 939 Köln



Vanessa Frettlöh, M. Sc.

Vanessa Frettlöh studierte Chemie in Siegen und ist seit 2013 in der gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH im Bereich der Beschichtungstechnik tätig. Neben der Betreuung von Forschungsprojekten in der Werkzeug- und Beschichtungstechnik widmete sie sich auch der Weiterentwicklung der CVD-Technik in Lüdenscheid. Seit 2020 ist Sie Bereichsleiterin Oberflächentechnik-Werkzeuge und damit für die Beschichtungstechnik mit Schwerpunkt chemischer Gasphasenabscheidung verantwortlich.



Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH
Lutherstraße 7
58 507 Lüdenscheid



Dipl.-Ing. Marko Gehlen

Herr Marko Gehlen studierte von 1990 bis 1996 Kunststofftechnik an der RWTH Aachen. Danach arbeitete er einige Jahre im Bereich der mechanischen Entwicklung von DECT-Telefonen bei der Siemens AG in Bocholt, bevor er die Leitung der Formenkonstruktion/NC-Programmierung bei der Gigaset Communications GmbH (vormals Siemens) übernahm. Schließlich leitete er für vier Jahre die Kunststoffverarbeitung.

2015 startete er am Kunststoff-Institut Lüdenscheid und war dort zunächst für die bereichsübergreifende Entwicklung von Verbundprojekten zuständig. Seit 2019 arbeitet Herr Gehlen in der Forschungsstelle des Kunststoff-Instituts Lüdenscheid, innerhalb derer ein Schwerpunkt die Entwicklung von funktionellen Werkzeugbeschichtungen ist. Hier verantwortet er u. a. den Bereich Strategie und Innovation.

Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH
Lutherstraße 7
58 507 Lüdenscheid

**Matthias Korres, B. Eng.**

Herr Korres absolvierte 2010 seine Ausbildung zum Verfahrensmechaniker für Kunststoff- und Kautschuktechnik im Bereich Spritzguss. Von 2012 an studierte er Maschinenbau mit der Vertiefung Kunststofftechnik an der Fachhochschule Südwestfalen zu Iserlohn. Als Abschlussarbeit entwickelte und optimierte er 2015 einen Prüfstand zur Vermessung der Haft- und Gleiteigenschaften von Kunststoffen zum Entformungszeitpunkt am Kunststoff-Institut Lüdenscheid.

Nach erfolgreichem Abschluss arbeitete Herr Korres zunächst in der Forschungsabteilung des Kunststoff-Instituts Lüdenscheid an Projekten zur Substitution von Metallbauteilen im Bereich von Druckgasgeneratoren und hybriden Werkzeugmaterialkonzepten. Anschließend wechselte er in den Bereich der Anwendungs- und Werkzeugtechnik am Institut und entwickelte eine Aufnahmeeinheit zur Erfassung und Analyse von Emissionen im Spritzgussprozess. Er beschäftigt sich unter anderem mit der Bewertung von Beschichtungen hinsicht-

lich ihrer Effektivität zur Reduzierung von Haft- und Belagsproblemen in der kunststoffverarbeitenden Industrie. Des Weiteren leitet und koordiniert er seit 2021 den Bereich für additive Fertigung am Kunststoff-Institut Lüdenscheid.

Ameya Kulkarni, M. Sc.

Herr Kulkarni studierte Computational Mechanics an der Universität Duisburg-Essen. Anschließend arbeitete er bei der KIMW-F gGmbH in der Forschung und Entwicklung für Strömungssimulationen von CVD-Reaktoren und Multiphysik-FEM-Berechnungen in unterschiedlichen Forschungsprojekten. Seit 2022 ist er bei der Winora Group und arbeitet in die Entwicklungsabteilung als FEM-Ingenieur.



Winora Group

Max-Planck-Straße 6

97 526 Sennfeld

Dr. Angelo Librizzi

Herr Dr. Angelo Librizzi absolvierte zunächst eine Berufsausbildung zum Werkzeugmechaniker – Formentechnik. Anschließend studierte er Maschinenbau – Kunststofftechnik an der Fachhochschule Südwestfalen in Iserlohn und an der Universität Paderborn. Neben seiner Berufstätigkeit promovierte er 2015 auf dem Gebiet der Dünnschichtsensorik zur Temperaturmessung in Spritzgießwerkzeugen am KTP der Universität Paderborn. Von 2008–2015 war er als Projektingenieur und als Bereichsleiter Oberflächentechnik an der Kunststoff-Institut Lüdenscheid GmbH tätig. 2015 wechselte er in die Forschungsstelle des Kunststoff-Instituts (KIMW Forschungs-gGmbH). Dort verantwortet er aktuell den Bereich der Werkzeug- und Prozesstechnik und ist als Prokurist Mitglied in der Geschäftsleitung.

Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH

Lutherstraße 7

58 507 Lüdenscheid



GEMEINNÜTZIGE KIMW FORSCHUNGS-GMBH

Dr. Orlaw Massler

Dr.-Ing. Orlaw Massler absolvierte zunächst ein Studium der Werkstoffwissenschaften an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen. Danach arbeitete er zunächst als Projekt- und Abteilungsleiter am Diamond Research Laboratory der De Beers Industrial Diamonds Division in Johannesburg, Südafrika. Seit 1999 war er dann bei der Balzers AG in Balzers, Liechtenstein (heute Oerlikon Surface Solutions) in verschiedenen Positionen, zuletzt als Entwicklungsleiter tätig. Von 2008 bis 2015 fungierte er in der Konzern-Forschung der Hilti AG in Liechtenstein als Tribologie-Experte. Seit 2015 ist Dr. Massler als Head of Research and Innovation der De Martin Gruppe mit Hauptsitz in der Schweiz tätig. Schwerpunkte sind sowohl innovative und hybride Funktions-Beschichtungen mit Elektrolyt-, PVD und PACVD Technologien, als auch disruptive Themen der Surface Technology.

De Martin AG Surface Technology
Froheggstrasse 34
CH 9545 Wängi

DE MARTIN
HIGHTECH⁺ SURFACES

Prof. Dr. Sanjay Mathur

Prof. Dr. Dr. (h. c.) Sanjay Mathur ist Lehrstuhlinhaber und Direktor am Institut für Anorganische Chemie der Universität zu Köln in Deutschland. Darüber hinaus ist er Direktor des Instituts für „Renewable Energy Sources“ an der Xi'an Jiaotong Universität in China und ein herausragender Professor der Chonbuk Universität in Korea. Des Weiteren ist er Gastprofessor am Institut für „Global Innovation Research“ an der Tokyo Universität für „Agriculture and Technology“ (TUAT) in Japan und Mitbestreiter des „Stimulating Peripheral Activity to Relieve Conditions“ (SPARC) am Indian Institute of Technology-Madras (IIT-Madras) in Indien. Seine Forschungsarbeiten beschäftigt sich mit der gezielten Anwendung von Nanomaterialien und zukunftsorientierten keramischen Materialien für Energietechnologien. Prof. Sanjay Mathur besitzt elf Patente und ist (Co)Autor von mehr als 500 wissenschaftlichen Publikationen (h-Index 71) und editierte eine Reihe an Büchern. Er ist Editor der wissenschaftlichen Journale Journal of Electroceramics und NanoEnergy. Prof. Mathur ist ein akademisches Mitglied der World Academy of Ceramics sowie der American Ceramic Society (ACerS) und ASM International.

2016 wurde Herr Prof. Sanjay Mathur mit einem Ehrendoktor der Vilnius Universität geehrt. Gegenwärtig ist er im Vorstand der European Materials Research Society (E-MRS). 2020 wurde er mit der R. C. Mehrotra Lifetime Achievement Preis der Indian Science Congress Association ausgezeichnet. Er wurde 2020 als Mitglied der European Academy of Science und 2021 als Mitglied der National Academy of Science, India ausgezeichnet. Darüber hinaus wurde er 2021 mit dem Woody White Preis der Material Research Society (MRS) geehrt und erhielt 2022 die Medaille der indischen Chemical Research Society. Im selben Jahr wurde ihm die Materials Frontiers Auszeichnung der International Union of Materials Research Society (IUMRS) zuteil. Aktuell ist er Präsident der American Ceramic Society (ACerS 2022-2023), USA und wurde für die Orton Jr. Lecture (2022/23) der American Ceramic Society berücksichtigt. Prof. Sanjay Mathur ist darüber hinaus Vorstandsmitglied der Deutschen Keramischen Gesellschaft (DKG) und gewähltes Mitglied des Prüfungsausschusses („Fachkollegiat“) der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG).

Institut für Anorganische Chemie
Universität zu Köln
Greinstr. 6
50 939 Köln



Markus Pothmann



Markus Pothmann ist Absolvent der Fachhochschule Münster und verfügt über umfangreiche Erfahrung auf dem Gebiet der Werkstofftechnik. Während seiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Labor für Werkstofftechnik widmete er sich insbesondere der Entwicklung tribologischer Prüfstände. Seit 2021 ist er bei der gemeinnützigen KIMW Forschungs-GmbH tätig, wo er seine Expertise in innovative Forschungsprojekte einbringt. Neben seiner Haupttätigkeit engagiert sich Markus Pothmann als Inhaber eines Unternehmens, das sich auf den Vertrieb von 3D gedruckten Bauteilen spezialisiert hat.

Gemeinnützige KIMW Forschungs-GmbH
Lutherstraße 7
58 507 Lüdenscheid



Dr. Stefan Svoboda



Herr Dr.-Ing. Stefan Svoboda studierte an der Technischen Universität Dresden Werkstoffwissenschaften und promovierte an der TU Ilmenau zum Thema „Nanostrukturierte Hartstoffschichten auf Sol-Gel-Basis zum Verschleißschutz“.

Er arbeitete einige Jahre in der Werkzeugindustrie in Schmalkalden und parallel dazu seit 1982 an der Ingenieurschule, ab 1990 Fachhochschule Schmalkalden. Neben der Leitung des Labors für Mikroskopie und Werkstoffanalytik lehrte er in der Fakultät Maschinenbau der Hochschule Schmalkalden Werkstofftechnik und Tribologie. Daneben lehrt er als Privatdozent an der Dualen Hochschule Eisenach Werkstofftechnik, Werkstoffprüfung und Instandhaltung.

1

Einleitung

Dr. Ruben Schlutter

Der deutsche Werkzeugbau gehört zu den am höchsten entwickelten weltweit und gehört zu den Allstars der Werkzeugmärkte. Die weiteren Allstars sind China, die USA, Japan, Südkorea. Diese zeichnen sich durch eine hohe Werkzeugkompetenz und ein großes Produktionsvolumen aus. Der deutsche Werkzeugmarkt zeichnet sich dabei durch die höchste Werkzeugbaukompetenz und den fünftgrößten Markt aus. Damit ist der deutsche Werkzeugbau der wichtigste in Europa. Im Jahr 2020 hatte der deutsche Werkzeugmarkt ein Marktvolumen von ca. 1,84 Mrd € für Spritzgießwerkzeuge und ca. 400 Mio € für Druckgusswerkzeuge. Besonders hochpreisige und komplexe Werkzeuge werden in Deutschland gefertigt. [BLK+22]

Ebenso wie die Qualität der Spritzgießwerkzeuge immer weiter steigt, steigen auch die Anforderungen an die produzierten Kunststoffformteile. Neben den Anforderungen an das Design und die Oberfläche des Kunststoffformteils spielt auch die Fertigung eine wesentliche Rolle im Anforderungsprofil. Die Spritzgießwerkzeuge müssen dafür immer größeren Belastungen standhalten, sei es durch den Einsatz abrasiver oder korrosionsfördernder Kunststoffe, Füll- und Verstärkungsstoffe oder Additive oder auch durch technologische Forderungen, wie das Erreichen eines bestimmten Fließweges oder das optische Kaschieren einer Bindaht. Innerhalb des Spritzgießprozesses können dabei vielfältige Fehler an den Formteilen und den Werkzeugen auftreten, die durch den Einsatz von Beschichtungen in den Werkzeugen gelöst oder minimiert werden können.

Das vorliegende Fachbuch fasst den gegenwärtigen Stand der Wissenschaft und Technik im Bereich der Beschichtungstechnologie zusammen. Die Auswahl geeigneter Schichten ist dabei immer ein Zusammenspiel zwischen dem Werkzeugbauer, dem Fertiger der Kunststoffformteile, dem Abnehmer der Kunststoffformteile und dem Beschichter.

■ 1.1 Mögliche Fehler an Formteilen

Glanzunterschiede und Tigerlines

Der Glanz eines Formteils entsteht dadurch, dass auf das Formteil einfallendes Licht reflektiert wird. Je glatter und gleichmäßiger die Oberfläche des Formteils ist, desto gleichmäßiger wird das Licht reflektiert und desto kleiner ist der Streuwinkel des reflektierten Lichtes. Strukturierte Oberflächen im Werkzeug, aber auch eine unterschiedliche Abbildung der Formteilkavität durch den Kunststoff führen zu Unterschieden im Glanzgrad. Im Bereich von Kühlkanälen, Auswerfern oder Wanddickenunterschieden treten Glanzunterschiede häufig auf, da hier Unterschiede in der lokalen Werkzeugwandtemperatur bestehen, die zu einer anderen Abbildungsgenauigkeit der Werkzeugwand im Vergleich zur umliegenden Formteilkavität führen. Beschichtungen beeinflussen ebenfalls den Glanzgrad. Durch unterschiedliche Eigenschaften und Wirkungsweisen der Beschichtungen kann hier keine allgemeingültige Aussage getroffen werden. [KI21]

Ein Spezialfall beim Auftreten von Glanzunterschieden sind Tigerlines. Sie treten vor allem bei der Verwendung von Blends oder Mehrphasensystemen auf. Durch die unterschiedliche Abformung der Formteilkavität durch die jeweilige Phase entstehen alternierende Glanzeindrücke, die zu einer optischen Streifenbildung führen. Hauptursachen für die Bildung von Tigerlines sind das partielle Ankrystallisieren der Randschicht unter hohen Schubspannungen und Unterschiede in der Schmelzeelastizität. Auch die Änderung der Fließfrontgeschwindigkeit kann das Auftreten von Tigerlines begünstigen. [KI21]

Matte Stellen im Anschnittbereich

Im Anschnittbereich werden die Polymerketten der Schmelze stark gedehnt und orientiert. Da die Schmelze an der Werkzeugwand sofort einfriert, können diese Dehnungen und Orientierungen nicht durch Relaxation abgebaut werden. Die Bereiche hoher Orientierung weisen dabei schlechte mechanische Eigenschaften auf und sind sehr empfindlich gegenüber Rissen. Während die Schmelze unter der erstarrten Randschicht entlangfließt, reißt diese auf, sodass die Schmelze in die Risse strömen kann und wieder an der Werkzeugwand erstarrt. Es entstehen Mikrokerben, die zu einer stark gestreuten Lichtreflektion im Bereich des Anschnittes führen. [KI21]

Bindenähte

Wenn mehrere Fließfronten in der Kavität aufeinandertreffen, entsteht eine Binde-naht. Beim Zusammentreffen werden die Fließfronten abgeplattet, durchmischen sich teilweise und verkleben. An der Werkzeugwand entsteht eine Kerbe. Bei strukturierten Oberflächen können zusätzlich Glanzunterschiede auftreten. Diese stellen eine optische und mechanische Fehlstelle dar. [KI21]