

Inhalt

| | |
|---|------|
| Vorwort | V |
| Der Autor: Prof. Christian Bonten | VII |
| Hinweise zur Benutzung des Buches | VIII |
| 1 Einleitung | 1 |
| 1.1 Kunststoff – Werkstoff der Moderne | 1 |
| 1.2 Einsatzgebiete von Kunststoffen | 5 |
| 1.3 Kunststoffe und Design | 8 |
| 2 Grundlagen | 13 |
| 2.1 Von Monomer zu Polymer | 13 |
| 2.1.1 Herkunft der Monomere | 13 |
| 2.1.2 Polymersynthese | 16 |
| 2.1.2.1 Polymerisation | 16 |
| 2.1.2.2 Copolymerisation (Sonderform der Polymerisation) | 19 |
| 2.1.2.3 Polykondensation | 19 |
| 2.1.2.4 Polyaddition | 21 |
| 2.1.3 Die Molmasse von Polymeren | 22 |
| 2.1.4 Bindungskräfte und Brown'sche Molekularbewegung | 27 |
| 2.1.4.1 Innermolekulare chemische Bindungen | 27 |
| 2.1.4.2 Intermolekulare physikalische Bindungen | 29 |
| 2.1.4.3 Brown'sche Molekularbewegung – Beweglichkeit der Polymerketten | 32 |
| 2.1.5 Mechanismen der Erstarrung und Unterteilung der Polymere | 33 |
| 2.1.6 Primärstruktur von Polymeren: Konstitution und Konfiguration | 36 |
| 2.1.7 Sekundär- und Tertiärstrukturen von Polymeren: Konformation | 38 |
| 2.1.7.1 Amorphe Strukturen | 38 |
| 2.1.7.2 Kristalline Strukturen | 39 |
| 2.1.7.3 Einfluss der Primärstruktur | 39 |
| 2.1.7.4 Überstrukturen | 42 |
| 2.1.8 Polymere – Rohstoff nicht nur für Kunststoffe | 45 |
| 2.2 Grundlagen der Kraftübertragung | 46 |
| 2.2.1 Wichtige Begriffe | 46 |
| 2.2.1.1 Festigkeit | 46 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.2.1.2 | Steifigkeit | 46 |
| 2.2.1.3 | Zähigkeit | 46 |
| 2.2.1.4 | Spannungs-Dehnungs-Diagramme | 47 |
| 2.2.2 | Zustandsbereiche von Kunststoffen | 50 |
| 2.2.2.1 | Glasübergangstemperatur T_g | 50 |
| 2.2.2.2 | Kristallitschmelztemperatur T_m | 51 |
| 2.2.2.3 | Zustandsbereiche vernetzter Polymere | 52 |
| 2.2.3 | Mechanische Ersatzmodelle | 54 |
| 2.3 | Kunststoff und Kunststofftechnik – Begriffsbestimmung | 57 |
| 3 | Kunststoff-Werkstofftechnik | 63 |
| 3.1 | Verhalten in der Schmelze – Fließeigenschaften und deren Messung | 64 |
| 3.1.1 | Strömungsmechanische Grundlagen | 64 |
| 3.1.2 | Einflüsse auf das Fließverhalten | 72 |
| 3.1.3 | Das Konzept der repräsentativen Viskosität | 76 |
| 3.1.4 | Dehnung von Schmelze | 78 |
| 3.1.5 | Strangaufweitung und Schrumpf | 81 |
| 3.1.6 | Rheometrie – die Messung der Fließeigenschaften | 83 |
| 3.1.6.1 | Die Messung des Schmelzeindex MFI | 84 |
| 3.1.6.2 | Das Hochdruck-Kapillarrheometer | 85 |
| 3.1.6.3 | Rotationsrheometer | 86 |
| 3.1.6.4 | Dehnrheometer | 91 |
| 3.2 | Verhalten als Festkörper – Festkörpereigenschaften und deren Messung | 92 |
| 3.2.1 | Mechanische Eigenschaften von Kunststoffen | 94 |
| 3.2.1.1 | Der Zugversuch | 94 |
| 3.2.1.2 | Der Schnellzerreißversuch | 97 |
| 3.2.1.3 | Zeit- und Temperatureinfluss auf das mechanische Verhalten ... | 98 |
| 3.2.1.4 | Der Zeitstandversuch | 101 |
| 3.2.1.5 | Der Schwingversuch | 103 |
| 3.2.1.6 | Der Biegeversuch | 105 |
| 3.2.2 | Physikalische Eigenschaften | 107 |
| 3.2.2.1 | Elektrische Eigenschaften | 107 |
| 3.2.2.2 | Magnetische Eigenschaften | 110 |
| 3.2.2.3 | Optische Eigenschaften | 111 |
| 3.2.2.4 | Akustische Eigenschaften | 118 |
| 3.2.3 | Werte für den Wärme- und Stoffaustausch | 120 |
| 3.2.3.1 | Spezifische Enthalpie h | 120 |
| 3.2.3.2 | Spezifische Wärmekapazität c_p | 122 |
| 3.2.3.3 | Dichte ρ | 125 |
| 3.2.3.4 | Wärmeleitfähigkeit λ | 125 |
| 3.2.3.5 | Wärmeausdehnungskoeffizient α | 128 |
| 3.2.3.6 | Temperaturleitfähigkeit a | 129 |
| 3.2.3.7 | Wärmeeindringzahl b | 131 |
| 3.2.3.8 | Stofftransport | 131 |
| 3.3 | Beeinflussung der Eigenschaften durch Zusatzstoffe | 135 |
| 3.3.1 | Verstärkungsstoffe – Aktive Zusatzstoffe | 136 |
| 3.3.1.1 | Die Fasern und das Prinzip der Verstärkung | 139 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.3.1.2 | Die Aufgaben der Matrix | 142 |
| 3.3.1.3 | Kraftübertragung des Faserkunststoffverbunds | 143 |
| 3.3.1.4 | Defekte in Faserkunststoffverbunden | 147 |
| 3.3.1.5 | Nanopartikel als aktive Zusatzstoffe | 150 |
| 3.3.2 | Funktions-Zusatzstoffe – Additive | 153 |
| 3.3.2.1 | Fließhilfsmittel | 153 |
| 3.3.2.2 | Weichmacher | 153 |
| 3.3.2.3 | Zumischung anderer Polymere – Bildung von Polymerblends | 155 |
| 3.3.2.4 | Schlagzähmodifizierer | 155 |
| 3.3.2.5 | Keimbildner (Nukleierungsmittel) | 157 |
| 3.3.2.6 | Haftvermittler | 158 |
| 3.3.3 | Füllstoffe – Inaktive Zusatzstoffe | 159 |
| 3.4 | Von Polymer zu Kunststoff – Einführung in die Kunststoff-Aufbereitung | 159 |
| 3.4.1 | Der Doppelschneckenextruder | 160 |
| 3.4.2 | Verfahrenstechnik | 161 |
| 3.4.3 | Charakteristische Kennwerte | 165 |
| 3.4.4 | Zusatzaggregate | 166 |
| 3.5 | Prozess, Struktur, Eigenschaften – Beeinflussung im Verarbeitungsprozess | 169 |
| 3.5.1 | Eigenspannungen | 169 |
| 3.5.2 | Orientierung von Makromolekülen | 170 |
| 3.5.3 | Orientierung von Fasern | 173 |
| 3.5.4 | Kristallisation | 174 |
| 3.5.5 | Bildung einer Makrostruktur: Schäumen von Kunststoffen | 174 |
| 3.6 | Veränderungen mit der Zeit – Einblick in die Alterung von Kunststoffen | 176 |
| 3.6.1 | Alterungsursachen | 177 |
| 3.6.2 | Alterungsvorgänge | 178 |
| 3.6.2.1 | Mechanische Alterungsmechanismen | 178 |
| 3.6.2.2 | Physikalische Alterungsmechanismen | 179 |
| 3.6.2.3 | Chemische Alterungsmechanismen | 180 |
| 3.6.2.4 | Wirkweise von Alterungstabilisatoren | 183 |
| 3.6.3 | Alterungserscheinungen | 184 |
| 3.6.4 | Charakterisierung des Alterungsfortschritts | 185 |
| 3.7 | Kurzdarstellung einiger wichtiger Kunststoffe | 188 |
| 4 | Kunststoff-Verarbeitungstechnik | 249 |
| 4.1 | Extrusion | 250 |
| 4.1.1 | Extruderschnecke und Zylinder | 251 |
| 4.1.2 | Der Hochleistungsextruder Helibar® | 258 |
| 4.1.3 | Rohr- und Profilextrusion | 260 |
| 4.1.4 | Platten- und Flachfolienextrusion | 265 |
| 4.1.5 | Blasfolien- und Schlauchextrusion | 267 |
| 4.1.6 | Extrusions-Blasformen | 268 |
| 4.1.7 | Co-Extrusion | 270 |
| 4.2 | Spritzgießen | 272 |
| 4.2.1 | Der Spritzgießprozess | 274 |
| 4.2.2 | Das Plastifizieraggregat | 276 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4.2.3 | Die Schließeinheit mit Spritzgießwerkzeug | 278 |
| 4.2.3.1 | Rheologische Auslegung | 280 |
| 4.2.3.2 | Thermische Auslegung | 282 |
| 4.2.4 | Einfluss des Spritzgießprozesses auf die Eigenschaften des Bauteils | 285 |
| 4.2.5 | Vorstellung einiger Sonderverfahren | 288 |
| 4.2.5.1 | Variotherme Werkzeugtemperierung | 289 |
| 4.2.5.2 | Spritzprägen | 290 |
| 4.2.5.3 | Thermoplastschaum-Spritzgießen | 291 |
| 4.2.5.4 | Kaskaden-Spritzgießen | 292 |
| 4.2.5.5 | Spritzgießcompoundieren | 292 |
| 4.2.5.6 | Mehr-Komponenten-Verfahren | 294 |
| 4.2.5.7 | Sandwich-Spritzgießen | 296 |
| 4.2.5.8 | Fluidinjektionstechniken | 297 |
| 4.2.5.9 | Hinterspritztechnik | 298 |
| 4.2.5.10 | Spritzstreck-Blasformen | 300 |
| 4.3 | Verarbeitung von vernetzenden Kunststoffen | 301 |
| 4.3.1 | Pressen | 303 |
| 4.3.2 | Transferpressen | 304 |
| 4.3.3 | Spritzgießen | 305 |
| 4.3.4 | Verarbeitung von Polyurethan | 306 |
| 4.4 | Technologie der Faserkunststoffverbunde | 311 |
| 4.4.1 | Handlaminieren und Faserspritzen | 311 |
| 4.4.2 | Pressen von SMC und GMT | 313 |
| 4.4.3 | Pultrusion von Endlosfasern | 315 |
| 4.4.4 | Arbeiten mit Prepregs | 317 |
| 4.4.5 | Harzinjektionsverfahren | 318 |
| 4.4.6 | Dreidimensionale Faserkunststoffverbundstrukturen | 320 |
| 4.5 | Weiterverarbeitung | 322 |
| 4.5.1 | Thermoformen | 322 |
| 4.5.2 | Mechanische Bearbeitung von Kunststoffen | 329 |
| 4.5.3 | Schweißen | 332 |
| 4.5.3.1 | Heizelementschweißen | 334 |
| 4.5.3.2 | Ultraschallschweißen | 338 |
| 4.5.3.3 | Vibrationsreibschweißen | 339 |
| 4.5.3.4 | Laserschweißen | 340 |
| 4.5.4 | Kleben | 341 |
| 4.5.5 | Fügen durch Schnappverbindungen, Schrauben und Nieten | 346 |
| 4.5.6 | Beschichten von Kunststoffen | 349 |
| 4.5.6.1 | Beschichtete Bauteile | 349 |
| 4.5.6.2 | Beschichtungsverfahren | 352 |
| 5 | Produktentwicklung mit Kunststoffen | 359 |
| 5.1 | Kunststoffe als Konstruktionswerkstoffe | 360 |
| 5.1.1 | Kunststoffspezifische Alleinstellungsmerkmale | 360 |
| 5.1.2 | Werkstoffvorauswahl | 363 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 5.2 | Geometrische Unterteilung von Produkten | 365 |
| 5.2.1 | Großflächige Produkte | 366 |
| 5.2.2 | Gehäuseartige Produkte | 367 |
| 5.2.3 | Behälterartige Produkte | 367 |
| 5.2.4 | Komplexe Produkte | 368 |
| 5.2.5 | Funktionsspezifische Produkte | 369 |
| 5.2.6 | Bedeutung für die Wahl des Verarbeitungsverfahrens | 369 |
| 5.3 | Konstruieren mit Kunststoffen | 371 |
| 5.3.1 | Anforderungen an Produkte und Funktionen | 371 |
| 5.3.2 | Nutzen der Gestaltungsfreiheit – Integration von Funktionselementen .. | 374 |
| 5.3.3 | Nutzung der Gestaltungsfreiheit – Erhöhung des Flächenträgheitsmoments | 378 |
| 5.3.4 | Werkstoffgerechtes Konstruieren | 381 |
| 5.3.5 | Fertigungsgerechtes Konstruieren | 391 |
| 5.3.6 | Beanspruchungsgerechtes Konstruieren | 394 |
| | 5.3.6.1 Dimensionierung gegen eine zulässige Spannung | 396 |
| | 5.3.6.2 Dimensionierung gegen eine kritische Dehnung | 398 |
| 5.3.7 | Lebensdauervorhersage | 402 |
| 5.3.8 | Kurzzusammenfassung der kunststoffgerechten Konstruktion | 404 |
| 5.4 | Nutzen von Prototypen in der Produktentwicklung | 406 |
| 5.4.1 | Rapid Prototyping | 407 |
| | 5.4.1.1 Stereolithographie (SLA) | 408 |
| | 5.4.1.2 Selektives Lasersintern (SLS) | 409 |
| | 5.4.1.3 Laminated Object Manufacturing | 409 |
| | 5.4.1.4 Fused Deposition Modeling (FDM) | 410 |
| | 5.4.1.5 3-D-Printing (3-D-P) | 412 |
| 5.4.2 | Rapid Tooling | 413 |
| | 5.4.2.1 Space Puzzle Molding | 414 |
| | 5.4.2.2 Gießverfahren | 414 |
| | 5.4.2.3 Lasersintern | 418 |
| 5.4.3 | Wahl eines Prototypverfahrens | 418 |
| | 5.4.3.1 Anforderungen an den Prototyp | 418 |
| | 5.4.3.2 Prototypen für großflächige Produkte und für gehäuseartige Produkte | 419 |
| | 5.4.3.3 Prototypen für behälterartige Produkte | 421 |
| | 5.4.3.4 Prototypen für komplexe Produkte | 422 |
| 6 | Kunststoffe und Umwelt | 425 |
| 6.1 | Kunststoffabfälle | 425 |
| 6.2 | Sind Kunststoffe giftig? | 431 |
| 6.3 | Biopolymere und Biokunststoffe | 435 |
| | 6.3.1 Bioabbaubare Kunststoffe | 436 |
| | 6.3.2 Biobasierte Kunststoffe | 439 |
| | 6.3.3 Von Biopolymer zu Biokunststoff – Aufbereitung von Biopolymeren | 444 |
| 6.4 | Ressourcenschonung mit Kunststoffen | 446 |
| | 6.4.1 Der Brundtland-Bericht und das Kyoto-Protokoll | 446 |

- 6.4.2 Ressourcenschonung mit Kunststoffen 447
 - 6.4.3 Regenerative Energieerzeugung mit Kunststoffen 452
- 6.5 Fazit 455
- A Empfehlungen zur Abfassung einer Bachelor-/Masterarbeit am IKT 459**
 - A.1 Unterschiedlicher Anspruch an eine Bachelor-, Master- und Doktorarbeit 459
 - A.2 Wissenschaftliche Methoden 460
 - A.2.1 Quellen-untersuchende Methoden 460
 - A.2.2 Theoretische Methoden 460
 - A.2.3 Empirische Methoden 461
 - A.3 Wissenschaftliche Arbeit 462
 - A.4 Bachelor- oder Masterarbeit 463
 - A.4.1 Zum Inhalt der Arbeit 463
 - A.4.1.1 Zusammenfassung 463
 - A.4.1.2 Einleitung 464
 - A.4.1.3 Hauptteil 464
 - A.4.1.4 Schlussbemerkungen 465
 - A.4.1.5 Anhang 465
 - A.4.2 Zum Umfang der Arbeit 466
 - A.4.3 Zum Schreibstil der Arbeit 466
- Index 469**