

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| Vorwort | XI |
| 2. Auflage | XI |
| 1. Auflage | XIII |
| Die Autoren | XV |
| 1 Einleitung und Übersicht | 1 |
| Literatur zu Kapitel 1 | 4 |
| TEIL A: Werkstoffverhalten, Materialmodellierung und Bewertung | 5 |
| 2 Mechanisches Werkstoffverhalten und -modellierung | 7 |
| 2.1 Grundbegriffe der Mechanik | 7 |
| 2.2 Charakteristische mechanische Werkstoffeigenschaften | 28 |
| 2.2.1 Thermoplaste | 29 |
| 2.2.2 Kurzfaserverstärkte Thermoplaste | 39 |
| 2.2.3 Elastomere | 40 |
| 2.2.4 Duroplaste | 44 |
| 2.2.5 Zeit-Temperatur-Verschiebungsprinzip | 44 |
| 2.3 Modellierung des Werkstoffverhaltens | 49 |
| 2.3.1 Thermoplaste | 50 |
| 2.3.1.1 Materialmodelle für Kurzzeit-Belastung | 51 |
| 2.3.1.2 Materialmodelle für Langzeit-Belastung | 63 |
| 2.3.1.3 Materialmodelle für dynamische Belastung | 73 |
| 2.3.2 Kurzfaserverstärkte Thermoplaste | 74 |
| 2.3.2.1 Grundlagen zur Mikromechanik | 76 |
| 2.3.2.2 Elastische Materialmodelle | 82 |
| 2.3.3 Elastomere und TPE | 90 |
| 2.3.3.1 Materialmodelle für Kurzzeit-Belastung | 90 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 2.3.3.2 | Materialmodelle für langzeitige und dynamische Belastung | 94 |
| 2.3.3.3 | Materialmodelle für die Kompressibilität | 95 |
| 2.3.4 | Duroplaste | 97 |
| 2.4 | Bestimmung von Materialparametern | 101 |
| 2.4.1 | Elastische Materialmodelle | 102 |
| 2.4.2 | Hyperelastische Materialmodelle | 113 |
| 2.4.3 | Elasto-plastische Materialmodelle | 123 |
| 2.4.4 | Kriechmodelle | 130 |
| 2.4.5 | Viskoelastische Materialmodelle | 135 |
| | Literatur zu Kapitel 2 | 142 |
| 3 | Dimensionierung von thermoplastischen Kunststoffbauteilen | 145 |
| 3.1 | Statische Festigkeit | 148 |
| 3.1.1 | Ermittlung von statischen Festigkeitskennwerten | 149 |
| 3.1.2 | Bewertung mehraxialer Beanspruchungen und Versagen | 160 |
| 3.1.2.1 | Spannungsbezogene Versagenshypothesen | 165 |
| 3.1.2.2 | Dehnungsbezogene Versagenshypothesen | 170 |
| 3.1.3 | Einflussfaktoren auf die Bauteilfestigkeit | 174 |
| 3.1.3.1 | Phänomenologisches Verhalten beim Versagen des Werkstoffs | 176 |
| 3.1.3.2 | Einfluss von Beanspruchungsgeschwindigkeit, Temperatur und Feuchte | 176 |
| 3.1.3.3 | Einfluss von Bauteilkonstruktion und Lastsituation | 178 |
| 3.1.3.4 | Einfluss der Fertigung | 179 |
| 3.1.4 | Ansätze zur Bemessung thermoplastischer Kunststoffbauteile .. | 182 |
| 3.1.4.1 | Werkstoffmechanik des Versagens von Thermoplasten .. | 183 |
| 3.1.4.2 | Bemessung gegen eine zulässige Dehnung | 187 |
| 3.1.4.3 | Bemessung gegen eine zulässige Spannung | 188 |
| 3.1.4.4 | Bemessung auf Basis von Spannungs-/Dehnungs-Kurven | 191 |
| 3.1.4.5 | Bemessung gegen eine zulässige spezifische Arbeitsaufnahme | 196 |
| 3.1.4.6 | Bemessung gegen eine zulässige plastische Vergleichsdehnung | 196 |
| 3.1.5 | Vergleich der Bemessungsansätze | 197 |
| 3.1.5.1 | Bemessungsgrenze und Bauteil-Beanspruchung | 200 |
| 3.1.5.2 | Spannungs- und dehnungsbasierte Vorgehensweise | 203 |
| 3.2 | Ermüdungsfestigkeit | 203 |
| 3.2.1 | Ermittlung von zyklischen Festigkeitskennwerten | 205 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 3.2.2 | Konstruktions- und fertigungsbedingte Einflüsse auf die Ermüdungsfestigkeit | 213 |
| 3.2.2.1 | Einfluss des Spannungsgradienten auf die Ermüdungsfestigkeit | 214 |
| 3.3 | Dimensionierung kurzfaserverstärkter Thermoplaste | 219 |
| 3.3.1 | Verhalten beim Versagen von kurzfaserverstärkten Thermoplasten | 221 |
| 3.3.2 | Ermittlung von Dimensionierungskennwerten für kurzfaserverstärkte Thermoplaste | 223 |
| 3.3.3 | Versagenshypothesen für kurzfaserverstärkte Kunststoffe | 228 |
| 3.3.4 | Ermüdungsfestigkeit kurzfaserverstärkter Kunststoffe | 235 |
| 3.3.4.1 | Ermittlung von zyklischen Festigkeitskennwerten | 235 |
| 3.3.4.2 | Master-Wöhlerkurven Konzept | 236 |
| 3.3.4.3 | Interpolation von Wöhlerkurven | 238 |
| 3.3.4.4 | Wöhlerkurven-Ermittlung auf Basis mikromechanischer Ansätze | 239 |
| 3.3.4.5 | Lokales Wöhlerkurven-Konzept | 241 |
| 3.4 | Streuungen | 244 |
| | Literatur zu Kapitel 3 | 248 |
| 4 | Dimensionierung von Elastomerbauteilen | 253 |
| 4.1 | Abschätzung der Belastbarkeit mittels Formänderungsenergiegedichte und Formänderungsbetrag | 255 |
| 4.2 | Praktische Auslegungsregeln | 256 |
| 4.3 | Auswertung von FEM-Ergebnissen bei großen Deformationen | 258 |
| 4.4 | Methode der „Crack-Energy-Density“ (CED) | 260 |
| | Literatur zu Kapitel 4 | 262 |
| 5 | Prozesssimulation und Prozess-Struktur-Kopplung | 265 |
| 5.1 | Der Spritzgießprozess | 266 |
| 5.2 | Beschreibung von Strömungsvorgängen | 270 |
| 5.2.1 | Berechnung der Faserorientierungen | 280 |
| 5.3 | Modellierungsansätze für die Prozesssimulation | 285 |
| 5.4 | Prozess-Struktur-Kopplung | 289 |
| 5.4.1 | Ergebnisse für die Struktursimulation | 293 |
| | Literatur zu Kapitel 5 | 302 |

| | |
|---|------------|
| TEIL B: Vorschlag für einen vereinfachten Festigkeitsnachweis . . . | 305 |
| 6 Vereinfachte Vorgehensweise zum Festigkeitsnachweis thermoplastischer Kunststoffbauteile | 307 |
| 6.1 Verwendete Konzepte beim vereinfachten Festigkeitsnachweis | 308 |
| 6.1.1 Ermittlung der Bemessungsgrenze | 308 |
| 6.1.2 Bauteilfestigkeit, Auslastungsgrad und Tragfähigkeit | 310 |
| 6.1.2.1 Konzept der lokalen Bauteilfestigkeit | 310 |
| 6.1.2.2 Auslastungsgrad | 311 |
| 6.1.2.3 Bauteiltragfähigkeit | 316 |
| 6.1.3 Auswahl der Versagenshypothese und Berücksichtigung von Mehraxialität | 322 |
| 6.1.4 Grenzspannungsamplitude und Näherungskonstruktion des Haigh-Diagramms | 328 |
| 6.1.5 Mehraxialität bei zyklischer Beanspruchung | 330 |
| 6.1.6 Kerbspannungskorrektur-Verfahren | 340 |
| 6.2 Vorschlag für einen vereinfachten statischen Festigkeitsnachweis | 342 |
| 6.2.1 Ermittlung der Spannungskennwerte | 343 |
| 6.2.2 Ermittlung der lokalen Bauteilfestigkeit bei kurzzeitiger Beanspruchung | 344 |
| 6.2.2.1 Erfassung des Temperatureinflusses auf die Bauteilfestigkeit | 349 |
| 6.2.3 Ermittlung der lokalen Bauteilfestigkeit bei langzeitiger Beanspruchung | 351 |
| 6.2.4 Ermittlung des statischen Auslastungsgrads | 355 |
| 6.2.5 Tragfähigkeitsnachweis | 359 |
| 6.3 Vorschlag für einen vereinfachten Ermüdungsfestigkeitsnachweis | 359 |
| 6.3.1 Ermittlung der Spannungskennwerte | 362 |
| 6.3.2 Nachweis gegen die Grenzspannungsamplitude | 362 |
| 6.3.3 Erfassung des Mittelspannungseinflusses | 364 |
| 6.3.4 Nachweis gegen eine Zeitfestigkeit | 369 |
| 6.3.5 Ermittlung des zyklischen Auslastungsgrads | 373 |
| Literatur zu Kapitel 6 | 375 |
| TEIL C: Einführung in die FEM | 377 |
| 7 Prinzip der FEM | 379 |
| 7.1 Grundlegende Vorgehensweise | 381 |
| 7.2 Systemgleichungen und Gleichungslösung | 389 |
| 7.3 Formfunktionen | 398 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 7.4 | Integrationspunkte | 407 |
| 7.5 | Nichtlineare Problemstellungen | 410 |
| 7.6 | Implizite und Explizite Solver | 416 |
| 7.7 | Elementtypen | 420 |
| 7.7.1 | Elementeigenschaften | 420 |
| 7.7.2 | Kontinuumsselemente | 428 |
| 7.7.3 | Strukturelemente | 430 |
| 7.7.4 | Sonstige Elemente | 434 |
| 7.8 | Schwingungssimulation | 436 |
| 7.8.1 | Lösung von Schwingungsproblemen in der FEM | 437 |
| 7.8.2 | Definition des FE-Modells | 440 |
| 7.8.3 | Ergebnisse von Schwingungssimulationen | 444 |
| | Literatur zu Kapitel 7 | 449 |
| 8 | FEM im Entwicklungsprozess | 451 |
| 8.1 | Planung | 451 |
| 8.1.1 | Ergebnisdefinition | 453 |
| 8.1.2 | Eingangsdaten, Datenquellen | 456 |
| 8.2 | Modellerstellung | 457 |
| 8.2.1 | Modellierungskonzept | 457 |
| 8.2.2 | Vernetzung | 461 |
| 8.2.3 | Randbedingungen | 467 |
| 8.2.3.1 | Kontaktprobleme | 471 |
| 8.3 | Lösungsverfahren | 474 |
| 8.3.1 | Lineare und nicht-lineare Probleme | 474 |
| 8.3.2 | Implizite und explizite Solver | 474 |
| 8.4 | Validierung | 476 |
| 8.5 | Auswertung und Dokumentation | 479 |
| 8.5.1 | Formale Anforderungen an einen Bericht | 484 |
| 8.5.2 | Prozesssicherheit | 484 |
| | Index | 487 |