



Thomas Kümmer

Kunststoffhandbuch

für
dummies[®]

Fachkorrektur von Martin Bonnet

WILEY

WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

Inhaltsverzeichnis

Über den Autor	7
Einführung	25
TEIL I	
UND JEDEM ZAUBER WOHNT EIN ANFANG INNE	31
Kapitel 1	
Hier stimmt die Chemie	33
Einstieg in die Welt der Kunststoffe	33
Kunststoffe und der Rest der Werkstoff-Welt	34
Aus vielen eines	35
Was es braucht, um ein Kunststoff zu sein	36
Synthese von Polymeren	37
Polymerisation	38
Polyaddition	39
Polykondensation	39
Polyinsertion	40
Aufbau der Polymerketten	40
Eine Frage des Taktes	41
Was die Welt im Innersten zusammenhält	44
Die Wärme machts	45
Härtere Verbindungen	45
Ganz elastisch	45
Amorphität und Teilkristallinität	47
Amorphe Thermoplaste	47
Teilkristalline Thermoplaste	49
Bestimmung der Kristallinität	52
Kapitel 2	
Verarbeitungsverfahren bei Thermoplasten	59
Urformen	60
Spritzguss	60
Extrusion	70
Umformen	72
Kalandrieren	72
Thermoformen	75
Blasformen	77
Spritzstreckblasen	80
Trennende Formgebung	83
Einleitung	83
Zerspanen	86
Gewinde schneiden	89

Entgraten.....	89
Kleben.....	91
Schweißen.....	95
Heizelementstumpfschweißen.....	95
Heizwendelschweißen.....	98
Infrarotschweißen.....	101
Heißluftschweißen.....	103
Reibschweißen.....	104
Ultraschallschweißen.....	108
Laserdurchstrahlschweißen.....	110
Kunststoff mit etwas beschichten.....	112
Kunststoffe lackieren.....	112
Kunststoffe metallisieren.....	113
Etwas mit Kunststoff beschichten.....	117
Wirbelsintern.....	117
Flammspritzen.....	118
Elektrostatisches Beschichten.....	119
Tempern.....	119
Ursache für innere Spannungen.....	119
Tempern bei teilkristallinen Kunststoffen.....	120
Gründe für das Tempern.....	120
Der Temper-Prozess.....	121
Generative Fertigungsverfahren.....	122
Verfahren.....	123
Zusammenfassung.....	127
Werkstoffe.....	128
Fazit.....	130

Kapitel 3

Exoten.....	133
Anorganische Polymere.....	133
Polyphosphazene.....	134
Polysiloxane.....	137
Graffitisprayers Altraum: Polysilazane.....	138
Fazit.....	139
Elektrisch leitfähige Polymere.....	140
Wirkungsweise.....	140
Aktuelle Anwendungen.....	141
Kurzbeschreibung der Werkstoffe.....	142
Ausblick.....	143
Elektroaktive Polymere.....	144
Magnetische Kunststoffe.....	145

TEIL II**DRUM PRÜFE, WER SICH EWIG BINDET 147****Kapitel 4****Materialanalysen 149**

Beilsteinprobe	149
Durchführung	150
Thermogravimetrie.....	150
Infrarotspektroskopie	151
Energiedispersive Röntgenspektroskopie, REM-EDX.....	153

Kapitel 5**Messungen bei Herstellung und Verarbeitung..... 155**

Wärmebildaufnahme.....	155
Feuchtigkeit des Granulats messen.....	155
Und wo ist das Problem?.....	156
Messverfahren	156
Trocknung.....	157
Panta rhei – Alles fließt.....	158
Scherviskosität	159
Dehnviskosität.....	163

TEIL III**WERKSTOFFEIGENSCHAFTEN..... 175****Kapitel 6****Mechanische Eigenschaften 177**

Linear-elastisches Verhalten.....	178
Viskoses Verhalten	179
Plastisches Verhalten	180
Viskoelastizität.....	181
Maxwell-Modell	181
Kelvin-Voigt-Modell	183
Poynting-Modell	184
Burger-Modell	185
Viskoplastizität.....	186
Prandtl-Modell.....	186
Masing-Modell.....	187
Bingham-Hooke-Modell.....	189
Universalprüfmaschine.....	190
Zugversuch.....	191
Probenkörper.....	191
Ergebnisse des Zugversuchs	192
Poissonzahl, Querkontraktion	194

Schubversuch	195
Schubmodul Definition.....	195
Torsionsprüfung.....	196
Scherprüfung.....	198
Torsionspendel-Schwingversuch.....	201
Ultraschallprüfung.....	208
Druckversuch	209
Prüfkörper.....	210
Ergebnisse Druckversuch	211
Biegeversuch	212
Definition Biegespannung	213
Definition Biegedehnung.....	215
4-Punkt-Biegeversuch	216
(Kerb-)Schlagbiegeversuch	217
Pendelhammer	217
Schlagbiegeversuch nach Charpy.....	219
Schlagbiegeversuch nach Dynstat.....	220
Schlagbiegeversuch nach Izod.....	221
Härteprüfung.....	222
Kugeldruckversuch	222
Härtemessung nach Shore.....	224
Reibungsverhalten	224
Standard-Reibversuche	225
Hinweise zum Reibverhalten.....	227
Zeitstandversuch.....	229
Durchführung Zug-Zeitstandversuch	230
Ergebnisse Zug-Zeitstandversuch	231
Zeitstandbiegeversuch	235
Umgebungsbedingte Spannungsriss-Bildung.....	236
Wie läuft diese Art der Spannungsriss-Bildung ab?.....	236
Experimentelle Untersuchung.....	237
Testverfahren für Polyethylen-Rohre.....	238
Dauerschwingversuch	238

Kapitel 7

Thermische Eigenschaften..... 243

Glasübergangstemperatur	243
Beschreibung der Phasen.....	245
Warum ist der Glasübergang ein Bereich und nicht ein Temperaturpunkt?	245
Wovon hängt die Glasübergangstemperatur T_g ab?.....	247
Messmethoden	247
Glasübergang und nutzbarer Temperaturbereich.....	248
Wärmeleitfähigkeit.....	249
Messmethoden	251
Spezifische Wärmekapazität.....	252
Messverfahren	252

Wärmedehnzahl.....	253
Wärmeformbeständigkeit	254
Messmethoden	255

Kapitel 8

Brandverhalten	261
Prüfmethoden	263
Entzündbarkeit.....	263
Sauerstoffindex.....	265
Brandausbreitung.....	265
Brandbelastung.....	267
Rauchentwicklung.....	267
Feuerschutz.....	270
Wo es geht, ganz vermeiden	270
Flammschutzmittel	271
Halogen-Flammschutzmittel	272
Andere Flammschutzmittel.....	272

Kapitel 9

Optische Eigenschaften	275
Auf den ersten Blick.....	275
Transparenz.....	275
Kein Durchblick mehr	276
Streuung.....	278
Messverfahren	279
Brechungsindex.....	281
Refraktometer-Verfahren.....	281
Becke-Linien-Verfahren	283
Es ist nicht alles Gold, was glänzt	284
Und wenn es matt sein soll?.....	284
Glanzmessung.....	285
Farbe bekennen.....	288
Definition des Farbtons	289
Mathematisch definierte Farbsysteme	289
Systeme auf Basis physikalischer Farbmuster	290
Farbmessung.....	291
Farbechtheit.....	292

Kapitel 10

Weitere Eigenschaften	293
Physikalische Eigenschaften	293
Dichte.....	293
UV-Beständigkeit	295
Strahlungsbeständigkeit.....	296
Witterungsbeständigkeit.....	296
Chemische Eigenschaften	298
Ein Warnhinweis vorweg.....	298

- Grundregeln..... 299
- Schadensarten 300
- Die üblichen Verdächtigen 300
- Ermitteln der chemischen Beständigkeit 301
- Beständigkeit gegen Wasser..... 302
- Elektrische Eigenschaften..... 303
 - Volumenwiderstand..... 304
 - Oberflächenwiderstand..... 304
- Permittivität..... 306

Kapitel 11

Sonstiges..... 309

- Akustische Eigenschaften, Dämpfung, Dämmung..... 309
 - Dämmung..... 309
 - Dämpfung..... 310
 - Schallausbreitung im Kunststoff..... 310
 - Über allen Gipfeln ist Ruh..... 313
- Gasdurchlässigkeit, Verhalten im Vakuum..... 315
 - Etwas Theorie..... 315
 - Diffusion..... 316
 - Messung der Permeation 318
- Was vom Tage übrig blieb... 323
- Das Kleingedruckte..... 326

TEIL IV

FLEXIBEL MUSS MAN SEIN 327

Kapitel 12

Polyolefine..... 329

- Polyethylen..... 330
 - Eigenschaften..... 330
 - Verarbeitung..... 334
 - Verwendung..... 334
 - Weitere PE-Typen..... 334
- Polypropylen..... 335
 - Eigenschaften..... 336
 - Eigenschaften..... 336
 - Verarbeitung..... 338
 - Verwendung..... 338
- Polymethylpenten 339
 - Verarbeitung..... 340
 - Verwendung..... 340
- Polybutylen 340
 - Eigenschaften..... 341
 - Verarbeitung..... 341
 - Verwendung..... 341

Kapitel 13

Polyvinylchlorid	343
Eigenschaften	343
Brandverhalten	344
Chemische Beständigkeit.....	345
Optische Eigenschaften	345
Sonstiges	345
Verarbeitung und Verwendung	345
Hart-PVC.....	346
Weich-PVC.....	346
Gele	347
Verarbeitung des Halbzeugs	348
PVC – der umstrittenste aller Kunststoffe.....	349
Problemlösungen	350
Polyvinylidenchlorid	351
Eigenschaften.....	351
Verarbeitung.....	353
Verwendung.....	353
Entsorgung.....	353

Kapitel 14

Polystyrol	355
Geschäumtes Polystyrol.....	356
Herstellung expandiertes PS.....	357
Verwendung.....	357
Extrudiertes PS.....	358
Standard-Polystyrol	358
Schlagzähes Polystyrol	359
Vernetztes Polystyrol	360
Syndiotaktisches Polystyrol	361
Weitere Kunststoffe mit PS-Anteil.....	361
Styrol-Butadien-Styrol	362

Kapitel 15

Polyester	365
Polyethylenterephthalat.....	365
Eigenschaften.....	366
Verarbeitung	367
Verwendung.....	367
Polybutylenterephthalat.....	368
Eigenschaften.....	369
Verarbeitung	369
Verwendung.....	370
Polycarbonat	370
Eigenschaften.....	370

Verarbeitung.....	372
Verwendung.....	372
Polyvinylalkohol.....	373
Polyvinylacetat.....	374

Kapitel 16

Weitere Standard-Thermoplaste 375

Ethylen-Vinylacetat-Copolymer.....	375
Eigenschaften.....	376
Verarbeitung.....	378
Verwendung.....	378
Polyacrylnitril.....	379
Styrol-Acrylnitril.....	381
Eigenschaften.....	381
Verarbeitung.....	382
Verwendung.....	382
Acrylnitril-Butadien-Styrol.....	383
Eigenschaften.....	383
Verarbeitung.....	384
Verwendung.....	384
Acrylester-Styrol-Acrylnitril.....	385
Eigenschaften.....	385
Verarbeitung.....	386
Verwendung.....	386
Anmerkung.....	387
Polymethylmethacrylat.....	387
Eigenschaften.....	387
Verarbeitung.....	389
Verwendung.....	389
Polyallyldiglycolcarbonat.....	390

Kapitel 17

Polyamid 391

Eigenschaften.....	394
Chemische Beständigkeit.....	395
Verarbeitung.....	395
Verwendung.....	396
Polyaramid.....	397
Eigenschaften.....	397
Verarbeitung.....	397
Verwendung.....	397
Polyphthalamide.....	398
Eigenschaften.....	398
Verarbeitung.....	400
Verwendung.....	400

Kapitel 18

Weitere technische Thermoplaste	401
Polyoxymethylen.....	402
Eigenschaften.....	402
Verarbeitung.....	404
Verwendung.....	404
Polyphenylensulfid.....	405
Eigenschaften.....	406
Verarbeitung.....	408
Verwendung.....	408
Flüssigkristalline Polymere.....	409
Was ist der Unterschied zwischen <i>flüssigkristallinen</i> Polymeren und <i>teilkristallinen</i> Polymeren?.....	411
Seitenketten-LCP.....	411
Aus welchen weiteren Polymeren kann man LCP erzeugen?.....	412
Besonderheiten der flüssigen Kristallinität.....	412
Eigenschaften.....	412
Verarbeitung.....	414
Verwendung.....	415

Kapitel 19

Hochleistungsthermoplaste	417
Polyphenylenether.....	418
Eigenschaften.....	418
Verarbeitung.....	419
Verwendung.....	420
Polyarylethersulfone.....	420
Polysulfon.....	421
Eigenschaften.....	421
Verarbeitung.....	422
Verwendung.....	423
Polyethersulfon.....	423
Eigenschaften.....	423
Verarbeitung.....	424
Verwendung.....	425
Polyarylsulfon.....	425
Polyphenylensulfon.....	425
Eigenschaften.....	425
Verarbeitung.....	426
Verwendung.....	427
Zusammenfassung.....	427
Polyaryletherketone.....	427
Polyetheretherketon.....	428
Eigenschaften.....	428
Verarbeitung.....	430
Verwendung.....	430

Kapitel 20

Polyimide	431
Polyimid.....	432
Eigenschaften.....	432
Verarbeitung.....	434
Verwendung.....	434
Polyamidimid.....	435
Eigenschaften.....	435
Verarbeitung.....	436
Verwendung.....	436
Polyetherimid.....	437
Eigenschaften.....	437
Verarbeitung.....	438
Verwendung.....	438
Polybismaleimid.....	439
Eigenschaften.....	439
Verarbeitung.....	439
Verwendung.....	440
Polybenzimidazol.....	440
Eigenschaften.....	440
Verarbeitung.....	441
Verwendung.....	441
Polymethacrylimid.....	442
Eigenschaften.....	442
Verarbeitung.....	442
Verwendung.....	442
Polyimid kombiniert mit Polysulfon.....	442
Polyetherimidsulfon.....	443
Eigenschaften.....	443
Verarbeitung.....	444
Verwendung.....	444
Polyoxadiazole.....	445
Eigenschaften.....	445
Verwendung.....	445
Eigenschaften.....	446
Verwendung.....	446

Kapitel 21

Fluorkunststoffe	447
Polytetrafluorethylen.....	448
Eigenschaften.....	448
Verarbeitung.....	450
Verwendung.....	450
Ethylentetrafluorethylen.....	452
Eigenschaften.....	453
Verarbeitung.....	454

Verwendung.....	454
Ethylenchlorotrifluorethylen.....	455
Eigenschaften.....	455
Verarbeitung.....	458
Verwendung.....	458
Polychlorotrifluorethylen.....	458
Eigenschaften.....	459
Verarbeitung.....	460
Verwendung.....	460
Polyvinylidenfluorid.....	461
Eigenschaften.....	461
Verarbeitung.....	463
Verwendung.....	463
Perfluoralkoxy-Polymere.....	464
Eigenschaften.....	464
Verarbeitung.....	465
Verwendung.....	466
Perfluorethylenpropylen.....	466
Eigenschaften.....	466
Verarbeitung.....	468
Verwendung.....	468

Kapitel 22

Zusammenfassung.....	469
Für eine Handvoll Dollar.....	469
Einteilung nach Güte der Eigenschaften.....	470

TEIL V

GELOBT SEI, WAS HART MACHT.....	473
----------------------------------------	------------

Kapitel 23

Werkstoffe.....	475
Phenoplaste.....	476
Eigenschaften.....	477
Verwendung.....	477
Aminoplaste.....	478
Harnstoff-Formaldehyd-Harz.....	479
Melamin-Harz.....	479
Polyesterharze.....	480
Eigenschaften.....	482
Verwendung.....	483
Acrylharz.....	485
Epoxidharze.....	486
Verarbeitung.....	486
Eigenschaften.....	487
Verwendung.....	487
Vinylesterharz.....	488

Verwendung.....	488
Polyurethane	489
Eigenschaften.....	489
Verarbeitung.....	490
Verwendung.....	491
Silikon.....	494
Verwendung.....	495
Silikonharz.....	499

Kapitel 24

Verarbeitungsverfahren bei Duroplasten 501

Spritzgießen	501
Formpressen	502
Vorwärmen.....	503
Dosieren und Einfüllen.....	503
Aufschmelzen.....	504
Formen.....	505
Härten.....	505
Auswerfen.....	506
Entgraten.....	506
Lieferformen der Rohmasse	507
Vergießen.....	508
Verarbeitung.....	509
Laminieren.....	513
Geeignetes Fasermaterial.....	513
Verarbeitung.....	514
Prepregs.....	514
Wickeln von harzgetränkten Fasern.....	516
Faserspritzen.....	517

TEIL VI

EINE ANDERE SICHT DER DINGE 519

Kapitel 25

Am Anfang war ... der Kunststoff 521

Vor der Industrialisierung.....	521
Neandertaler.....	522
Industrielle Entwicklung.....	522
Entwicklungsmethoden.....	523
Entwicklung der Kunststoffproduktion.....	524

Kapitel 26

Kunststoffe und Umwelt 527

Schädliche Auswirkungen des Plastikmülls.....	528
Löst sich das Problem von selber auf?.....	528
Es gibt nichts Gutes, außer man tut es.....	529
Recycling.....	529

Thermische Verwertung	531
Lösemittelbasiertes Recycling	531
Biologisch abbaubare Kunststoffe, Biokunststoffe	533
Kunststoffe auf Basis von Glucose	539
Polycaprolacton	544
Galalith	545
Weitere Einsatzgebiete von biologisch abbaubaren Kunststoffen	546
Kunststoff-Vermeidung	546
Der Kreislauf des Lebens – für Kunststoffe	546
Schlusswort	548

TEIL VII

TOP-TEN-TEIL	549
---------------------------	------------

Kapitel 27

10 wissenswerte Fakten über Kunststoffe	551
Was ist Kunststoff und was ist Polymer?	551
Grundtypen der Kunststoffe	552
Organisch - Anorganisch	552
Polymere und Natur	552
Polymere und die Menschheit	553
Polymere in der Technik	553
Polymere und die Umwelt	553
Kunststoffe als Problemlöser	553
Kunststoffe und die Wirtschaft	554
Kunststoffe – immer noch unter Wert verwendet	554

Stichwortverzeichnis	555
-----------------------------------	------------