SPIS TREŚCI

Przedmowa 9

1. Wprowadzenie (*Krzysztof Wilczyński*) 11

2. Podstawy materiałowe (*Krzysztof Wilczyński*) 17
   2.1. Klasyfikacja tworzyw 17
   2.2. Charakterystyka materiałowa tworzyw 24
      2.2.1. Właściwości reologiczne 25
         2.2.1.1. Lepkość polimerów 25
         2.2.1.2. Wskaźnik szybkości płynięcia 28
      2.2.2. Właściwości termodynamiczne 30
         2.2.2.1. Gęstość 30
         2.2.2.2. Przewodność cieplna 33
         2.2.2.3. Ciepło właściwe 34
         2.2.2.4. Entalpia właściwa 35
         2.2.2.5. Dyfuzyjność cieplna 36

3. Procesy przetwórstwa tworzyw 38
   3.1. Wytłaczanie (*Krzysztof Wilczyński*) 39
      3.1.1. Wprowadzenie 39
      3.1.2. Wytłaczanie jednoślimakowe 42
         3.1.2.1. Ślimaki 45
         3.1.2.2. Cylinder 49
         3.1.2.3. Podstawy teorii wytłaczania jednoślimakowego 50
      3.1.3. Wytłaczanie dwuślimakowe 62
         3.1.3.1. Wytłaczanie dwuślimakowe współbieżne 63
         3.1.3.2. Wytłaczanie dwuślimakowe przeciwbieżne 66
      3.1.4. Głowice wytłaczarskie 69
      3.1.5. Linie technologiczne wytłaczania 75
   3.2. Wtryskiwanie (*Henryk Zawistowski*) 77
      3.2.1. Budowa wtryskarek 79
         3.2.1.1. Zespoły funkcjonalne 79
         3.2.1.2. Specjalne typy wtryskarek 91
         3.2.1.3. Wyposażenie wtryskarek 92
         3.2.1.4. Wielkości charakterystyczne i wykorzystanie wtryskarki 93
         3.2.1.5. Współpraca wtryskarki z formą 100
      3.2.2. Budowa formy wtryskowej 102
      3.2.3. Przebieg procesu wtryskiwania 106
         3.2.3.1. Cykl wtryskiwania 106

3.2.3.2. Parametry procesu . . . 110
3.2.3.3. Kierowanie procesem wtryskiwania . . . 113
3.2.4. Zjawiska zachodzące w formie w czasie procesu wtryskiwania . . . 122
3.2.4.1. Przepływ tworzywa w formie . . . 123
3.2.4.2. Kształtowanie zespołu cech wewnętrznych wypraski . . . 126
3.2.5. Zasady technologiczności wyprasek . . . 129
3.2.5.1. Skurcz . . . 135
3.2.5.2. Dokładność wymiarowa wyprasek . . . 137
3.2.6. Wspomaganie komputerowe procesu wtryskiwania . . . 139
3.3. Specjalne metody wtryskiwania (*Adrian Lewandowski*) . . . 144
3.3.1. Wprowadzenie . . . 144
3.3.2. Wtryskiwanie wielokomponentowe . . . 144
3.3.3. Obtryskiwanie elementów umieszczonych w formie . . . 147
3.3.4. Wtryskiwanie wspomagane gazem lub cieczą . . . 149
3.3.5. Wtryskiwanie porujące . . . 152
3.3.6. Wtryskiwanie sekwencyjne . . . 155
3.3.7. Wtryskiwanie kaskadowe . . . 157
3.3.8. Wtryskiwanie z doprasowaniem . . . 158
3.4. Formowanie z rozdmuchiwaniem (*Krzysztof Wilczyński*) . . . 160
3.4.1. Wprowadzenie . . . 160
3.4.2. Wytłaczanie z rozdmuchiwaniem . . . 161
3.4.2.1. Wytłaczanie z rozdmuchiwaniem swobodnym . . . 161
3.4.2.2. Wytłaczanie z rozdmuchiwaniem w formie . . . 162
3.4.3. Wtryskiwanie z rozdmuchiwaniem . . . 164
3.5. Prasowanie (*Jacek Garbarski*) . . . 166
3.5.1. Wstęp . . . 166
3.5.2. Prasowanie tłoczne . . . 167
3.5.2.1. Definicja procesu . . . 167
3.5.2.2. Stosowane materiały . . . 167
3.5.2.3. Suszenie i podgrzewanie wstępne . . . 167
3.5.2.4. Opis procesu technologicznego . . . 169
3.5.3. Prasowanie przetłoczne . . . 179
3.5.3.1. Definicja procesu . . . 179
3.5.3.2. Opis procesu technologicznego . . . 180
3.5.4. Prasowanie tłoczne tworzyw termoplastycznych . . . 185
3.6. Termoformowanie (*Jacek Garbarski*) . . . 188
3.6.1. Wstęp . . . 188
3.6.2. Definicja procesu . . . 188
3.6.3. Odmiany termoformowania . . . 190
3.6.3.1. Termoformowanie negatywowe . . . 190
3.6.3.2. Termoformowanie pozytywowe . . . 193
3.6.4. Uwagi dotyczące technologii . . . 197
3.6.4.1. Budowa form . . . 197
3.6.4.2. Nastawianie parametrów procesu . . . 198
3.6.4.3. Łączenie termoformowania z procesami napełniania . . . 198
3.6.5. Warunki cieplne i naprężenia w wyrobie termoformowanym . . . 199
3.6.5.1. Stan fizyczny materiału podczas termoformowania . . . 199
3.6.5.2. Stan naprężeń . . . 200

3.7. Walcowanie i kalandrowanie (*Andrzej Nastaj*) 201
3.7.1. Walcowanie 201
3.7.2. Kalandrowanie 207
3.8. Procesy spieniania (*Kamila Buziak*) 216
3.8.1. Porofory 218
3.8.2. Mechanizm spieniania tworzyw sztucznych 218
3.8.3. Metody spieniania tworzyw sztucznych 220
3.9. Odlewanie (*Przemysław Narowski*) 224
3.9.1. Odlewanie właściwe 225
3.9.1.1. Wprowadzenie 225
3.9.1.2. Definicja procesu 225
3.9.1.3. Stosowane materiały 225
3.9.1.4. Wady i zalety odlewania 226
3.9.1.5. Maszyny 227
3.9.1.6. Narzędzia 228
3.9.1.7. Parametry procesu 229
3.9.2. Odlewanie rotacyjne 231
3.9.2.1. Wprowadzenie 231
3.9.2.2. Definicja procesu 232
3.9.2.3. Stosowane materiały 233
3.9.2.4. Wady i zalety odlewania rotacyjnego 234
3.9.2.5. Maszyny do odlewania rotacyjnego 234
3.9.2.6. Formy do odlewania rotacyjnego 237
3.9.2.7. Parametry procesu 240
3.9.3. Wylewanie i zalewanie 242
3.9.3.1. Wylewanie 242
3.9.3.2. Definicja procesu 243
3.9.3.3. Stosowane materiały 243
3.9.3.4. Maszyny 244
3.9.3.5. Narzędzia 246
3.9.3.6. Parametry procesu 246
3.9.3.7. Zalewanie 247
3.10. Procesy wzmacniania tworzyw – kompozyty (*Jacek Garbarski*) 248
3.10.1. Materiały kompozytowe 248
3.10.1.1. Wstęp 248
3.10.1.2. Stosowane materiały 249
3.10.1.3. Prepregi (preimpregnaty) 252
3.10.2. Metody wzmacniania 252
3.10.2.1. Uwagi ogólne 252
3.10.2.2. Laminowanie 252
3.10.2.3. Przetwarzanie prepregów 253
3.10.2.4. Natryskiwanie 254
3.10.2.5. Nawijanie 255
3.10.2.6. Pultruzja 257
3.10.2.7. Prasowanie 257
3.11. Łączenie tworzyw (*Mariusz Fabijański*) 262
3.11.1 Klejenie 262
3.11.1.1. Podstawy procesu klejenia 262
3.11.1.2. Przygotowanie powierzchni materiału do procesu klejenia 265

3.11.1.3. Kleje . . . 266
3.11.1.4. Przygotowanie kleju . . . 268
3.11.1.5. Nakładanie kleju na powierzchnię . . . 269
3.11.1.6. Utwardzanie kleju . . . 269
3.11.1.7. Charakterystyka złączy klejowych . . . 271
3.11.2. Zgrzewanie . . . 273
3.11.2.1. Podstawy procesu zgrzewania . . . 273
3.11.2.2. Metody zgrzewania tworzyw . . . 274
3.11.3. Spawanie . . . 286
3.11.3.1. Podstawy procesu spawania . . . 286
3.11.3.2. Metody spawania tworzyw . . . 287
3.11.3.3. Przygotowanie powierzchni do spawania . . . 290
3.11.3.4. Charakterystyka złączy spawanych . . . 290
3.11.3.5. Kontrola połączeń spawanych . . . 291
3.12. Techniki przyrostowe (*Krzysztof J. Wilczyński*) . . . 293
3.12.1. Wprowadzenie . . . 293
3.12.2. FDM – Fused Deposition Modeling . . . 295
3.12.2.1. Charakterystyka metody . . . 296
3.12.2.2. Metodyka modelowania . . . 299
3.12.2.3. Parametry procesu . . . 302
3.12.2.4. Materiały stosowane w druku FDM . . . 304
3.12.3. Inne techniki przyrostowe . . . 306
3.12.3.1. SLA – Stereolitography Apparatus . . . 308
3.12.3.2. SLS – Selective Laser Sintering . . . 309
3.12.3.3. EBM – Electron Beam Melting . . . 310
3.12.3.4. 3DP – 3D Printing . . . 310
3.12.3.5. LOM – Laminated Object Manufacturing . . . 311

4. Recykling tworzyw (*Jacek Garbarski*) . . . 313
4.1. Gospodarka odpadami . . . 313
4.1.1. Wstęp . . . 313
4.1.2. Przetwarzanie wtórne . . . 316
4.1.2.1. Przetwarzanie materiałowe . . . 316
4.1.2.2. Przetwarzanie surowcowe . . . 317
4.1.2.3. Przetwarzanie energetyczne . . . 318
4.1.2.4. Składowanie na wysypiskach śmieci . . . 320
4.2. Wtórne zagospodarowanie tworzyw polimerowych . . . 322
4.2.1. Uwagi wstępne . . . 322
4.2.2. Zbieranie i segregacja . . . 325
4.2.3. Usuwanie zanieczyszczeń obcymi materiałami . . . 326
4.2.4. Przetwarzanie surowcowe odpadów tworzywowych (trzeciorzędowe) . . . 327
4.3. Biotworzywa . . . 328