

Spis treści

Przedmowa	9
Wykaz stosowanych symboli i skrótów	11
Rozdział 1. Wiadomości wstępne o kompozytach	15
1.1. Rodzaje kompozytów ze względu na typ fazy rozproszonej	16
1.2. Powierzchnie rozdziału (graniczne)	16
1.3. Współczynnik kształtu	17
1.4. Rodzaje kompozytów ze względu na typ matrycy	17
1.5. Kompozyty polimerowe	17
1.6. Składniki polimerowych kompozytów konstrukcyjnych	20
Literatura	20
Rozdział 2. Polimery	21
2.1. Właściwości fizyczne polimerów	24
2.2. Ważniejsze polimery stosowane do wytwarzania wyrobów kompozytowych	29
2.2.1. Żywice termoutwardzalne (duropasty)	30
2.2.1.1. Nienasycone żywice poliestrowe (NŻPE) i winyloestrowe (VE)	30
2.2.1.2. Żywice epoksydowe	34
2.2.1.3. Porównanie żywic poliestrowych, winyloestrowych i epoksydowych	36
2.2.1.4. Żywice fenolowo-formaldehydowe	38
2.2.2. Termoplasty jako matryce kompozytów	41
2.2.2.1. Poliolefiny (polietylen, polipropylen)	41
2.2.2.2. Poliamidy	44
2.2.2.3. Poliestry termoplastyczne - PET, PBT, PC	45
2.2.2.4. Porównanie właściwości kompozytów termoplastycznych	47
Literatura	49
Rozdział 3. Napełniacze i wzmocnienia	50
3.1. Napełniacze ziarniste	50
3.2. Włókna wzmacniające	52
3.2.1. Włókna szklane tekstylne	52
3.2.2. Preparacje powierzchniowe włókien szklanych	56
3.2.3. Roving szklany - podstawowy rodzaj wzmocnienia kompozytów	59
3.2.4. Inne formy wzmocnień włóknistych	62
3.2.4.1. Włókniny, maty, preformy	64
3.2.4.2. Tkaniny	66
3.2.4.3. Dżianiny i wzmocnienia splatane	71
3.2.5. Włókna węglowe	72
3.2.5.1. Właściwości włókien węglowych	73

3.2.5.2.	Struktura włókien węglowych	76
3.2.5.3.	Powierzchnia włókien węglowych	77
3.2.5.4.	Wytwarzane rodzaje przędz z włókien węglowych	78
3.2.5.5.	Rynek i zastosowanie włókien węglowych	78
3.2.6.	Włókna aramidowe	83
3.2.7.	Włókna polietylenowe o dużej wytrzymałości	88
3.2.8.	Inne włókna nieorganiczne	90
3.2.8.1.	Włókna borowe	90
3.2.8.2.	Włókna z węgla krzemu (SiC)	93
3.2.8.3.	Włókna metaliczne	96
3.2.8.4.	Włókna monokrystaliczne (ang. whiskers)	97
3.2.8.5.	Mikrowłókna	101
3.2.8.6.	Krótkie włókna mineralne z materiałów naturalnych	103
3.2.8.7.	Różne włókna cięte i mielone	104
3.2.9.	Włókna roślinne	105
3.2.9.1.	Budowa włókien roślinnych	106
3.2.9.2.	Produkty i włókna z drewna	109
3.2.9.3.	Mączka drzewna	111
3.2.9.4.	Włókna drzewna	111
3.2.9.5.	Celuloza	112
	Literatura	113

Rozdział 4. Materiały lekkie do kompozytowych konstrukcji przekładkowych (sandwicz)	116	
4.1.	Polimerowe rdzenie porowate	117
4.1.1.	Pianki poliuretanowe	117
4.1.2.	Polistyren ekspandowany (styropian)	117
4.1.3.	Pianki z polichloru winylu)	118
4.1.4.	Rdzenie z pianek poliimidowych	119
4.1.5.	Pianki fenolowo-formaldehydowe	121
4.1.6.	Porowate materiały poliolefinowe z PP i PE	121
4.2.	Rdzenie lekkie z drewna	121
4.3.	Rdzenie komórkowe typu plaster miodu	121
4.4.	Lekkie rdzenie kompozycyjne	124
	Literatura	127

Rozdział 5. Struktura i właściwości kompozytów polimerowych	128	
5.1.	Wprowadzenie do teorii wzmocnienia	128
5.1.1.	Kompozyty wzmocnione włóknami długimi	129
5.1.2.	Kompozyty wzmocnione włóknami krótkimi	137
5.1.3.	Odporność uderzeniowa kompozytów	145
5.2.	Kompozyty o wzmocnieniu różnokierunkowym	151
5.2.1.	Kompozyty o wzmocnieniu ortotropowym	156
5.3.	Podstawowe typy kompozytów o różnym układzie włókien	158
5.4.	Kompozyty o wzmocnieniu hybrydowym	159
5.5.	Wpływ naprężeń skurczowych w kompozycie	160
5.6.	Krzywe odkształceń kompozytów	162

5.6.1.	Przestrzenne odkształcenia kompozytów pod obciążeniem	164
5.7.	Pełzanie, wytrzymałość trwała i zmęczeniowa kompozytów	168
5.7.1.	Pełzanie	168
5.7.2.	Wytrzymałość trwała	169
5.7.3.	Wytrzymałość zmęczeniowa przy obciążeniach zmiennych	170
5.8.	Zespolenie składników kompozytów	172
5.8.1.	Adhezja polimerów do włókien wzmacniających i środki proadhezyjne	173
5.8.1.1.	Związki krzemoorganiczne	174
5.8.1.2.	Oddziaływanie wzajemne silanów z polimerami w kompozytach	177
5.8.1.3.	Organiczne związki tytanowe	182
5.8.2.	Zwilżalność i adhezja	185
5.8.2.1.	Zwilżalność powierzchni stałych	185
5.8.3.	Rola rozwinięcia powierzchni granicznych	190
5.8.4.	Teorie wpływu warstwy granicznej na właściwości kompozytów	192
	Literatura	193

Rozdział 6. Metody technologiczne wytwarzania wyrobów kompozytowych **194**

A.	Kompozyty z użyciem polimerów termoutwardzalnych	194
A6.1.	Laminowanie ręczne (kontaktowe)	194
A6.2.	Laminowanie natryskowe	197
A6.3.	Laminowanie z zastosowaniem elastycznego worka	198
A6.4.	Technologie formowania infuzyjnego	200
A6.4.1.	Formowanie infuzyjne pod próżnią	201
A6.4.2.	Metody RTM	202
A6.5.	Formowanie z zastosowaniem autoklawu	205
A6.6.	Formowanie metodą RIM	207
A6.7.	Formowanie ciśnieniowe z użyciem pras	208
A6.7.1.	Cięnieniowe formowanie kompozytów warstwowych na podstawie żywic polikondensacyjnych	209
A6.7.2.	Kompozyty warstwowe z preimpregnatów z żywic polimeryzacyjnych	211
A6.7.3.	Formowanie tłoczne niskociśnieniowe laminatów na zimno	212
A6.7.4.	Formowanie wysokociśnieniowe laminatów na gorąco z użyciem żywic ciekłych	213
A6.8.	Tłoczywa termoutwardzalne	215
A6.8.1.	Tłoczywa termoutwardzalne z żywic polikondensacyjnych	216
A6.8.2.	Tłoczywa termoutwardzalne z żywic polimeryzacyjnych	218
A6.8.2.1.	Wzmocnione tłoczywa poliestrowe	219
A6.8.2.2.	Tłoczywa epoksydowe	232
A6.8.2.3.	Tłoczywa silikonowe	234
A6.9.	Formowanie metodą nawijania	235
A6.10.	Formowanie rur i walczków metodą odlewania odśrodkowego	241
A6.11.	Formowanie metodą programowanego układania rovingu lub taśm AFP	242

A6.12.	Formowanie profili metodą przeciągania - pultruzji	243
A6.13.	Produkcja płyt płaskich i falistych	246
A6.14.	Wysokonapełnione kompozycje utwardzalne	248
A6.14.1.	Betony żywiczne	249
A6.14.2.	Zaprawy budowlane	252
A6.14.3.	Kity i szpachlówki	253
A6.14.4.	Sztuczne kamienie	253
A6.14.5.	Zamienniki ceramiki technicznej	253
A6.14.6.	Okładziny i tarcze cierne	254
B.	Kompozyty z użyciem polimerów termoplastycznych	254
B6.1.	Wytwarzanie wyrobów kompozytowych metodą wtrysku	255
B6.1.1.	Termoplasty wzmocnione włóknami krótkimi	255
B6.1.2.	Termoplasty wtryskowe wzmocnione włóknami długimi - LFT	257
B6.2.	Termoplasty wzmocnione matami - TWM	263
B6.2.1.	Technologia wyłaczania	264
B6.2.2.	Technologia impregnacji proszkowej	264
B6.2.3.	Technologie papiernicze	265
B6.2.4.	Przetwórstwo TWM	265
B6.3.	Wytwarzanie płyt kompozytowych z termoplastów innych niż TWM	267
B6.4.	Wytwarzanie metodą RIM	268
B6.5.	Profile kompozytowe z termoplastów	270
B6.6.	Formowanie metodą nawijania i układania wzmocnienia - AFP	271
B6.7.	Technologie z użyciem półproduktów w postaci przędz hybrydowych (Twintexe)	272
	Literatura	273
	Rozdział 7. Nanokompozyty polimerowe	275
7.1.	Interakcja polimer-nanonapełniacz	276
7.2.	Nanokompozyty z nanocząstkami sferycznymi - „proszkowymi”3D	277
7.3.	Nanokompozyty z udziałem krzemianów warstwowych - 2D	278
7.3.1.	Krzemiany warstwowe	278
7.3.2.	Modyfikacja montmorylonitu	280
7.3.3.	Struktura nanokompozytów	281
7.3.4.	Wytwarzanie nanokompozytów z krzemianami warstwowymi	282
7.3.4.1.	Dyspergowanie i adsorpcja	282
7.3.4.2.	Polimeryzacja interkalacyjna in situ	283
7.3.4.3.	Interkalacja w stopie	284
7.3.4.4.	Właściwości i zastosowanie	284
7.4.	Nanokompozyty z cząstkami 1D	290
7.4.1.	Nanowłókna i nanorurki węglowe - CNT (Carbon Nanotubeś) i CNF (Carbon Nanofibers)	290
7.4.1.1.	Wytwarzanie nanorurek węglowych	293
7.4.1.2.	Modyfikacja powierzchni nanorurek węglowych	294
7.4.1.3.	Wytwarzanie nanokompozytów z CNT	296
7.4.1.4.	Właściwości nanokompozytów z CNT	296

Literatura	298
Rozdział 8. Polimery samowzmocnione	300
8.1. Wytwarzanie fibrylarniej struktury szaszykowej	300
8.2. Wyroby płytowe	303
8.3. Polimery ciekłokrystaliczne - LCP	304
Literatura	309
Rozdział 9. Podstawy obliczeń i projektowania konstrukcji kompozytowych - Witold Biedunkiewicz	310
9.1. Aspekty wytrzymałościowe kompozytowych elementów konstrukcyjnych	312
9.2. Hipotezy wytrzymałościowe	319
9.3. Analiza struktur kompozytowych metodą elementów skończonych	324
Literatura	326
Skorowidz	327

oprac. BPK