

Spis treści

Przedmowa	IX
1. Wprowadzenie	1
1.1. Nanomateriały – definicje, podstawowe pojęcia i przykłady	1
1.2. Materiały we współczesnej technice	5
1.3. Klasyfikacja materiałów inżynierskich	12
1.4. Budowa materiałów inżynierskich	14
1.4.1. Elementy mikrostruktury materiałów	17
1.4.2. Hierarchiczność struktury materiałów	24
Literatura	26
2. Struktura i właściwości materiałów inżynierskich	27
2.1. Metale	28
2.2. Ceramiki	38
2.3. Polimery	42
2.4. Kompozyty	45
Literatura	49
3. Struktura i właściwości nanomateriałów	51
3.1. Podstawowe zjawiska wykorzystywane w nanomateriałach	52
3.2. Wpływ skali wymiarowej	53
3.2.1. Zależność Halla–Petcha	53
3.2.2. Charakterystyczne wymiary i odległości w mikrostrukturze	56
3.2.3. Gradient odkształcenia	56
3.3. Wpływ powierzchni granicznych	57
3.3.1. Poślizg po granicach ziaren	58
3.4. Właściwości mechaniczne	59
3.4.1. Moduł sprężystości i efekty niesprężyste	60
3.4.2. Ciągłość	60
3.4.3. Naprężenie uplastyczniające i wytrzymałość	63
3.4.4. Wytrzymałość teoretyczna	63
3.4.5. Granica plastyczności	65
3.4.6. Wytrzymałość na rozciąganie	66
3.4.7. Twardość	67
3.4.8. Odporność na pękanie	68
3.4.9. Wytrzymałość zmęczeniowa	72
3.4.10. Zużycie ścierne	73

3.5. Właściwości cieplne	74
3.6. Właściwości chemiczne i biologiczne	74
Literatura	75
4. Charakteryzowanie i modelowanie nanomateriałów	78
4.1. Metody obrazowania struktury nanomateriałów	79
4.1.1. Mikroskopia elektronowa	79
4.1.2. Mikroskopia sond skanujących	87
4.1.3. Metody rentgenowskie	88
4.1.4. Techniki tomograficzne	91
4.2. Opis ilościowy struktury	92
4.2.1. Analiza liczby obiektów	94
4.2.2. Analiza wielkości (rozmiaru) obiektów	95
4.2.3. Analiza udziału objętościowego obiektów	96
4.2.4. Analiza kształtu obiektów	97
4.2.5. Analiza sposobu rozmieszczenia obiektów	98
4.3. Modelowanie właściwości i procesów zachodzących w nanomateriałach	99
4.3.1. Metody obliczeniowe	100
4.3.2. Przykład modelowania właściwości granic ziaren	105
4.3.3. Przykład modelowania właściwości mechanicznych	113
4.3.4. Modelowanie stabilności termicznej	119
Literatura	125
5. Nanometale	130
5.1. Metody wytwarzania	131
5.1.1. Osadzanie z fazy gazowej lub ciekłej	132
5.1.2. Szybkie chłodzenie i nanokrystalizacja z fazy amorficznej	133
5.1.3. Konsolidacja nanoproszków	134
5.1.4. Metody dużego odkształcenia plastycznego	135
5.2. Właściwości nanometali	143
5.3. Przykłady zastosowań nanometali	151
Literatura	154
6. Nanoproszki i nanospieki ceramiczne	157
6.1. Charakterystyczne właściwości nanoproszków	158
6.1.1. Powierzchnia właściwa	158
6.1.2. Aglomeracja nanocząstek	160
6.1.3. Właściwości magnetyczne	163
6.2. Metody wytwarzania nanoproszków	164
6.2.1. Metody osadzania z fazy gazowej	164
6.2.2. Metody osadzania z fazy ciekłej	165
6.2.3. Metody rozdrabniania	168
6.3. Eksperymentalne metody pomiaru wielkości nanocząstek	170
6.3.1. Metody pośrednie	170
6.3.2. Metody bezpośrednie	172
6.3.3. Parametry charakteryzujące populację nanocząstek	173
6.4. Formowanie i spiekanie nanoproszków	176
6.4.1. Zagęszczanie	177
6.4.2. Spiekanie	178
6.4.3. Badania skonsolidowanych proszków	181
Literatura	184

7. Nanokompozyty	186
7.1. Podstawowe pojęcia	186
7.2. Metody wytwarzania	194
7.2.1. Nanokompozyty ceramiczne i metaliczne	194
7.2.2. Nanokompozyty polimerowe	201
7.3. Wpływ nanonapełniacza na właściwości nanokompozytów	205
7.4. Przykłady zastosowań	213
Literatura	218
8. Nanowarstwy powierzchniowe	220
8.1. Metody otrzymywania	223
8.1.1. Wytwarzanie pasywnych warstw tlenkowych	223
8.1.2. Metody osadzania z fazy gazowej	224
8.1.3. Osadzanie elektrolityczne	227
8.1.4. Metody mechaniczne	228
8.2. Metody charakteryzowania	230
8.2.1. Badania spektroskopowe	230
8.2.2. Badania mikrostruktury	234
8.2.3. Pomiary właściwości mechanicznych	239
8.3. Przykłady	243
8.3.1. Nanowarstwy tlenkowe na metalach	243
8.3.2. Powłoki PVD na bazie azotków metali	247
Literatura	253
9. Nanowłókna	256
9.1. Wprowadzenie – nanowłókna polimerowe	256
9.2. Metody wytwarzania nanowłókien	257
9.2.1. Ciągnięcie nanowłókien	258
9.2.2. Synteza według szablonu	259
9.2.3. Rozdzielanie faz	259
9.2.4. Samoorganizacja molekularna	259
9.2.5. Elektroprzędzenie nanowłókien	260
9.3. Proces elektroprzędzenia z roztworu	260
9.3.1. Parametry roztworu polimerowego	261
9.3.2. Wpływ warunków procesu	264
9.3.3. Wpływ parametrów otoczenia na proces	266
9.4. Elektroprzędzenie ze stopionego polimeru	267
9.5. Wytwarzanie nanowłókien o różnej morfologii	267
9.5.1. Nanowłókna porowate	268
9.5.2. Nanowłókna płaskie lub wstążkowe	268
9.5.3. Nanowłókna rozgałęzione	269
9.5.4. Nanowłókna wydrążone	270
9.5.5. Nanowłókna o różnej kompozycji	271
9.5.6. Nanowłókna ukierunkowane	271
9.6. Charakteryzacja właściwości nanowłókien	272
9.6.1. Morfologia nanowłókien	272
9.6.2. Właściwości mechaniczne nanowłókien	275
9.7. Zastosowanie nanowłókien w medycynie	277
9.7.1. Inżynieria tkankowa	277
9.7.2. Uwalnianie leków	282

9.7.3. Materiały opatrunkowe	283
Literatura	284
10. Nanostruktury węglowe	288
10.1. Nanorurki węglowe	291
10.1.1. Struktura nanorurek węglowych	291
10.1.2. Struktura elektronowa nanorurek węglowych	293
10.1.3. Wytwarzanie nanorurek węglowych	294
10.1.4. Oczyszczanie i funkcjonalizacja nanorurek węglowych	299
10.1.5. Rozpuszczalność nanorurek węglowych	303
10.1.6. Dyspersja nanorurek węglowych	304
10.1.7. Właściwości nanorurek węglowych – podsumowanie	306
10.1.8. Zastosowania nanorurek węglowych	307
10.2. Nanorurki innych pierwiastków	307
10.3. Galeria obrazów TEM przedstawiających nanorurki węglowe	308
Literatura	313
11. Nanomateriały inspirowane obserwacjami przyrody	314
11.1. Nanomateriały w przyrodzie	314
11.2. Przykład okrzemków jako gotowych wzorców	317
11.3. Inżynieria biomimetyczna nanomateriałów	321
Literatura	326
12. Zrównoważony rozwój nanomateriałów inżynierskich	328
12.1. Toksyczność nanomateriałów	328
12.2. Zagrożenia dla człowieka i środowiska	331
12.3. Bezpieczeństwo pracy z nanomateriałami	334
Literatura	336
13. Perspektywy nanorewolucji materiałów inżynierskich	338
13.1. Odkrywanie skali nanometrycznej w materiałach konwencjonalnych	338
13.2. Nanomodyfikacja	341
13.3. Nanomateriały do wytwarzania mikroelementów	342
13.4. Prognozy rozwoju rynku nanomateriałów	344
13.4.1. Przykłady zastosowań nanomateriałów	345
Skorowidz	351