

# Spis treści

<b>Przedmowa</b> .....	IX
<b>1. Wprowadzenie</b> .....	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
<b>2. Struktura i właściwości materiałów inżynierskich</b> .....	27
2.1. Metale .....	28
2.2. Ceramiki .....	38
2.3. Polimery .....	42
2.4. Kompozyty .....	45
Literatura .....	49
<b>3. Struktura i właściwości nanomateriałów</b> .....	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 ściernie .....	73

3.5. Właściwości cieplne .....	74
3.6. Właściwości chemiczne i biologiczne .....	74
Literatura .....	75
<b>4. Charakteryzowanie i modelowanie nanomateriałów .....</b>	<b>78</b>
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
<b>5. Nanometale .....</b>	<b>130</b>
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
<b>6. Nanoproszki i nanospieki ceramiczne .....</b>	<b>157</b>
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

<b>7. Nanokompozyty</b> .....	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
<b>8. Nanowarstwy powierzchniowe</b> .....	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
<b>9. Nanowłókna</b> .....	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
<b>10. Nanostruktury węglowe .....</b>	<b>288</b>
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
<b>11. Nanomateriały inspirowane obserwacjami przyrody .....</b>	<b>314</b>
11.1. Nanomateriały w przyrodzie .....	314
11.2. Przykład okrzemków jako gotowych wzorców .....	317
11.3. Inżynieria biomimetyczna nanomateriałów .....	321
Literatura .....	326
<b>12. Zrównoważony rozwój nanomateriałów inżynierskich .....</b>	<b>328</b>
12.1. Toksyczność nanomateriałów .....	328
12.2. Zagrożenia dla człowieka i środowiska .....	331
12.3. Bezpieczeństwo pracy z nanomateriałami .....	334
Literatura .....	336
<b>13. Perspektywy nanorewolucji materiałów inżynierskich .....</b>	<b>338</b>
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
<b>Skorowidz .....</b>	<b>351</b>