



Spis treści

	Przedmowa	13
1	Materiały inżynierskie	15
	1.1. Rodzaje materiałów	16
	1.2. Struktura	21
	1.3. Własności materiałów	23
	1.4. Procesy wytwarzania	25
	1.5. Oddziaływanie między strukturą, własnościami i procesem wytwarzania	27
	1.6. Globalne zużycie materiałów	29
2	Wiązania między atomami	30
	2.1. Struktura atomu	30
	2.2. Wiązania jonowe	39
	2.3. Wiązania kowalencyjne	42
	2.4. Wiązania metaliczne	45
	2.5. Wiązania wtórne (van der Waalsa)	46
	2.6. Energia wiązań między atomami	47
	2.7. Wiązania w poszczególnych kategoriach materiałów	48
	Podsumowanie	50
	Zadania	51
3	Struktura krystaliczna – krystalografia	53
	3.1. Siedem układów krystalograficznych i czternaście typów sieci	53
	3.2. Położenia sieciowe	57
	3.3. Kierunki sieciowe	58
	3.4. Płaszczyzny sieciowe	59
	3.5. Oznaczanie struktur krystalicznych	62
	3.6. Struktura krystaliczna metali	63

3.7.	Struktury o najgęstszym ułożeniu atomów	66
3.8.	Struktury krystaliczne ceramik	70
3.9.	Szklą krzemianowe	82
	Podsumowanie	83
	Zadania	84

4 Własności mechaniczne 89

4.1.	Napężenie i odkształcenie	89
4.2.	Moduły sprężystości	93
4.3.	Odkształcenie sprężyste	96
4.4.	Statyczna próba rozciągania	98
4.5.	Twardość	106
4.6.	Odporność na pękanie	108
4.6.1.	Mechanika pękania.....	108
4.6.2.	Strefa odkształcenia plastycznego wokół wierzchołka pęknięcia	111
4.6.3.	Zakresy wartości K_{Ic}	112
4.6.4.	Zależność między wytrzymałością i odpornością na pękanie.....	113
4.6.5.	Zastosowanie K_{Ic}	115
4.6.6.	Pękanie ciągłe	115
4.6.7.	Różnice między pękaniem ciągłym i kruchym	117
4.7.	Udarność	117
4.7.1.	Próba udarności	117
4.7.2.	Udarność metali	119
4.8.	Zmęczenie	121
4.8.1.	Krzywa S-N	122
4.8.2.	Rodzaje zniszczeń zmęczeniowych	123
4.8.3.	Mechanika pękania zmęczeniowego	124
4.8.4.	Rozwój pęknięć zmęczeniowych	127
4.8.5.	Zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej	129
	Podsumowanie	129
	Zadania	130

5 Defekty struktury krystalicznej 133

5.1.	Roztwory stałe. Niedoskonałości chemiczne	133
5.2.	Defekty punktowe	137
5.2.1.	Stężenie defektów punktowych	139
5.2.2.	Dyfuzja	142
5.3.	Dyslokacje – defekty liniowe	153
5.3.1.	Teoretyczna wytrzymałość na napężenia styczne	153
5.3.2.	Dyslokacje	154
5.3.3.	Odkształcenie plastyczne	157
5.3.4.	Niektóre własności dyslokacji	160
5.3.5.	Zależność τ od siły rozciągającej	163
5.4.	Defekty powierzchniowe – granice ziarn	165

5.5.	Granice międzyfazowe	174
5.6.	Umocnienie	175
5.7.	Pełzanie	185
5.7.1.	Mechanizmy pełzania	187
5.7.2.	Wytrzymałość na pełzanie	190
5.7.3.	Materiały do zastosowań wysokotemperaturowych	191
	Podsumowanie	192
	Zadania	193

6	Wykresy fazowe	198
6.1.	Reguła faz	198
6.2.	Ogólne uwagi o wykresach fazowych	199
6.3.	Dwuskładnikowe wykresy fazowe	202
6.4.	Wykres fazowy dla składników o nieograniczonej rozpuszczalności w stanie stałym	202
6.5.	Reguła dźwigni	205
6.6.	Tworzenie mikrostruktury w stopach układu o nieograniczonej rozpuszczalności składników w stanie stałym	207
6.7.	Wykres fazowy dla składników nierozpuszczających się wzajemnie w stanie stałym	208
6.8.	Wykres fazowy z przemianą eutektyczną, gdy składniki rozpuszczają się w stanie stałym	211
6.9.	Wykres fazowy z przemianą perytektyczną	215
6.10.	Wykres fazowy z przemianą eutektoidalną	216
6.11.	Złożone wykresy fazowe	217
6.12.	Składniki mikrostrukturalne w układzie Fe-Fe ₃ C	219
6.13.	Wykres fazowy Fe-C	225
	Podsumowanie	228
	Zadania	229

7	Zmiany strukturalne	235
7.1.	Sily pędne zmian strukturalnych	236
7.1.1.	Siła pędna krystalizacji	237
7.1.2.	Zmiany struktury w stanie stałym	240
7.2.	Zarodkowanie aktywowane cieplnie (dyfuzyjne)	240
7.2.1.	Zarodkowanie jednorodne	241
7.2.2.	Zarodkowanie niejednorodne	243
7.2.3.	Kinetyka zarodkowania	243
7.3.	Szybkość przemiany dyfuzyjnej	244
7.4.	Krystalizacja	246
7.4.1.	Krystalizacja równowagowa	246
7.4.2.	Krystalizacja nierównowagowa	248
7.4.3.	Wzrost kryształów podczas krzepnięcia	248
7.4.4.	Segregacja	252
7.4.5.	Struktura odlewu	252

7.5.	Wykresy CTP	254
7.5.1.	Przemiany dyfuzyjne	256
7.5.2.	Przemiana bainityczna	258
7.5.3.	Przemiana martenzytyczna	259
7.6.	Obróbka cieplna stali	266
7.6.1.	Hartowanie	267
7.6.2.	Odpuszczanie	269
7.6.3.	Kruchość odpuszczania	272
7.6.4.	Hartowność	274
7.6.5.	Wyżarzanie	276
7.6.6.	Obróbka powierzchniowa	277
7.7.	Umocnienie wydzieleniowe (umocnienie przez starzenie)	278
7.8.	Struktura materiału odkształconego, zdrowienie i rekrytalizacja	284
7.8.1.	Struktura materiału odkształconego	285
7.8.2.	Zdrowienie	286
7.8.3.	Rekrytalizacja	288
7.9.	Kształt ziarn	293
7.10.	Rozrost ziarn	293
7.10.1.	Kinetyka rozrostu ziarn	296
7.10.2.	Rozrost ziarn w obecności cząstek	297
	Podsumowanie	300
	Zadania	302
8	Metale i ich stopy	305
8.1.	Stale	306
8.1.1.	Składniki zwykłe	307
8.1.2.	Zanieczyszczenia	307
8.1.3.	Pierwiastki stopowe w stali	309
8.1.4.	Wpływ pierwiastków stopowych na własności stali	311
8.1.5.	Podział stali	312
8.1.6.	Oznaczanie stali wg PN-EN 10027-1:2007	312
8.1.7.	Węgiel w stali	315
8.1.8.	Stale konstrukcyjne	316
8.1.9.	Stale narzędziowe	321
8.1.10.	Stale odporne na korozję	324
8.2.	Żeliwa	328
8.3.	Stopy metali nieżelaznych	331
8.3.1.	Stopy Al	332
8.3.2.	Stopy Cu	335
8.3.3.	Stopy Ni i Co	339
8.3.4.	Stopy Ti	341
	Podsumowanie	344
	Zadania	345
9	Ceramiki i szkła	348
9.1.	Wyroby z gliny (ceramika tradycyjna)	349
9.2.	Nowoczesne (zaawansowane) ceramiki	352
9.3.	Materiały ogniotrwałe	354

9.4.	Ceramiki ściernie	357
9.5.	Szklą – ceramiki niekryształiczne	357
9.6.	Tworzywa szklano-ceramiczne	361
9.7.	Własności ceramik i szkieł	363
9.7.1.	Wytrzymałość ceramik	365
9.7.2.	Odporność ceramik na pękanie	366
9.7.3.	Wpływ czasu na wytrzymałość ceramik	368
9.7.4.	Pełzanie	369
	Podsumowanie	370
	Zadania	371
10	Polimery	374
10.1.	Polimeryzacja	375
10.2.	Struktura polimerów	380
10.3.	Polimery termoplastyczne (termoplasty)	387
10.4.	Polimery termoutwardzalne (duropasty)	388
10.5.	Elastomery (gumy)	389
10.6.	Dodatki	392
10.7.	Zachowanie polimerów pod wpływem obciążenia	393
10.8.	Własności polimerów	396
	Podsumowanie	400
	Zadania	401
11	Kompozyty	403
11.1.	Kompozyty włókniste	404
11.2.	Drewno – naturalny kompozyt włóknisty	411
11.3.	Kompozyty agregatowe	415
11.3.1.	Beton	415
11.3.2.	Cermetale	418
11.4.	Parametry wpływające na własności mechaniczne kompozytu	420
11.5.	Wytrzymałość na rozciąganie	423
11.6.	Porównanie własności mechanicznych kompozytów i stopów metali	425
	Podsumowanie	426
	Zadania	427
12	Kształtowanie wyrobów	431
12.1.	Wytwarzanie wyrobów metalowych	433
12.1.1.	Odewanie	435
12.1.2.	Kształtowanie odkształceniowe	438
12.1.3.	Metallurgia proszków	443
12.1.4.	Obróbka skrawaniem	445
12.1.5.	Procesy łączenia	446
12.1.6.	Inżynieria powierzchni	446
12.2.	Kształtowanie ceramik	447
12.2.1.	Kształtowanie przez prasowanie i spiekanie	448
12.2.2.	Odewanie z gęstwy	448

12.2.3.	Spiekanie reaktywne	449
12.3.	Kształtowanie szkła	449
12.4.	Kształtowanie polimerów	451
12.4.1.	Kształtowanie przez wtrysk	452
12.4.2.	Kształtowanie przez wytłaczanie (wyciskanie)	452
12.4.3.	Kształtowanie przez rodmuchiwanie	453
12.4.4.	Kształtowanie przez prasowanie	454
12.4.5.	Kształtowanie przez odlewanie	455
12.5.	Wytwarzanie wyrobów kompozytowych	455
12.5.1.	Wytwarzanie włókien	456
12.5.2.	Układanie włókien	457
12.5.3.	Kształtowanie wyrobów	458
12.5.4.	Odlewanie kompozytu agregatowego o osnowie metalowej	459
	Podsumowanie	460
13	Własności elektryczne materiałów	462
13.1.	Przewodnictwo elektryczne	462
13.2.	Struktura pasmowa	466
13.3.	Ruchliwość elektronów	469
13.3.1.	Opór elektryczny metali	469
13.3.2.	Przewodność innych materiałów	473
13.4.	Przewody elektryczne	474
13.5.	Półprzewodniki samoistne	474
13.5.1.	Dziury elektronowe	475
13.5.2.	Przewodnictwo pierwiastkowych półprzewodników samoistnych	477
13.6.	Półprzewodniki domieszkowe	480
13.6.1.	Półprzewodnik domieszkowy typu <i>n</i>	481
13.6.2.	Półprzewodnik domieszkowy typu <i>p</i>	484
13.7.	Urządzenia półprzewodnikowe	486
13.7.1.	Złącze <i>p-n</i>	487
13.7.2.	Tranzystor	490
13.7.3.	Obwody scalone	491
13.7.4.	Wytwarzanie obwodów scalonych	492
13.8.	Dipole i polaryzacja	494
13.9.	Własności dielektryczne	496
13.10.	Materiały piezoelektryczne	497
13.11.	Materiały ferroelektryczne	498
	Podsumowanie	499
	Zadania	501
14	Własności magnetyczne materiałów	504
14.1.	Pochodzenie momentów magnetycznych	504
14.2.	Wielkości magnetyczne	508
14.3.	Zachowanie magnetyczne materiałów	510
14.3.1.	Diamagnetyzm	510
14.3.2.	Paramagnetyzm	511
14.3.3.	Ferromagnetyzm	512

14.3.4.	Antyferromagnetyzm	513
14.3.5.	Ferrimagnetyzm	514
14.4.	Wpływ temperatury na zachowanie magnetyczne	515
14.5.	Struktura domenowa	516
14.6.	Pętla histerezy	518
14.7.	Magnetostrykcja	521
14.8.	Materiały magnetyczne	521
14.8.1.	Straty energii	523
14.8.2.	Materiały magnetyczne miękkie	524
14.8.3.	Materiały magnetyczne twarde	529
	Podsumowanie	530
	Zadania	531

15 Własności optyczne materiałów 533

15.1.	Stałe optyczne	535
15.2.	Absorpcja światła	540
15.3.	Selektywna absorpcja, transmisja i odbicie	542
15.4.	Zastosowanie promieniowania elektromagnetycznego	543
15.5.	Włókna optyczne	554
	Podsumowanie	554
	Zadania	555

16 Własności cieplne materiałów 557

16.1.	Podstawy	558
16.2.	Ciepło właściwe	559
16.3.	Przewodnictwo cieplne	561
16.4.	Rozszerzalność cieplna	565
16.5.	Naprężenia cieplne	569
16.6.	Zakresy temperatury stosowania materiałów	572
	Podsumowanie	573
	Zadania	574

17 Korozja 575

17.1.	Korozja chemiczna	576
17.1.1.	Mechanizm wzrostu warstwy tlenku	577
17.1.2.	Szybkość utleniania	578
17.1.3.	Warstwy ochronne – tlenki ochronne	580
17.2.	Korozja elektrochemiczna	582
17.2.1.	Elementy ogniwa elektrochemicznego	583
17.2.2.	Reakcje na anodzie	584
17.2.3.	Reakcje na katodzie	584
17.2.4.	Siła pędna korozji elektrochemicznej	587
17.2.5.	Szereg galwaniczny	588
17.2.6.	Pasywność metali	588
17.2.7.	Polaryzacja	589

17.3.	Rodzaje korozji elektrochemicznej (ogniwa korozyjne)	589
17.3.1.	Korozyjne ogniwo galwaniczne	590
17.3.2.	Korozja międzykrystaliczna	591
17.3.3.	Korozyjne ogniwo stężeniowe	592
17.3.4.	Korozja wżerowa (pittingowa)	593
17.3.5.	Korozja szczelinowa	594
17.3.6.	Korozyjne ogniwo naprężeniowe	595
17.3.7.	Korozja naprężeniowa	596
17.3.8.	Korozjo-erozja	596
17.4.	Metody zapobiegania korozji elektrochemicznej	597
17.4.1.	Projektowanie	597
17.4.2.	Dobór materiału i obróbki	599
17.4.3.	Powłoki ochronne	601
17.4.4.	Inhibitory	604
17.4.5.	Ochrona katodowa	604
17.4.6.	Pasywacja lub ochrona anodowa	605
	Podsumowanie	606
	Zadania	608
18	Charakterystyka materiałów	610
18.1.	Określanie składu chemicznego – spektroskopia elektronów powłok wewnętrznych atomów	611
18.1.1.	Spektroskopia energii rozpraszanej promieniowania rentgenowskiego w mikroskopach elektronowych	615
18.1.2.	Fluorescencyjna analiza rentgenowska	617
18.1.3.	Spektroskopia strat energii elektronów	617
18.2.	Metody dyfrakcyjne	617
18.2.1.	Dyfrakcja	618
18.2.2.	Dyfrakcja promieni rentgenowskich	619
18.2.3.	Dyfrakcja elektronowa	622
18.3.	Mikroskopia	622
18.3.1.	Mikroskopia świetlna	624
18.3.2.	Mikroskopia elektronowa skaningowa	625
18.3.3.	Mikroskopia elektronowa transmisyjna	628
18.3.4.	Mikroskop elektronowy skaningowo-transmisyjny	632
18.3.5.	Mikroskop jonowy	633
18.3.6.	Mikroskopy ze skanującą sondą	633
	Podsumowanie	637
	Literatura	639
	Pojęcia i ich definicje	642
	Tablice uzupełniające	669