



Spis treści

	Przedmowa	13
1	Materiały inżynierskie	15
	1.1. Rodzaje materiałów	15
	1.2. Zależności między procesem wytwarzania, strukturą i własnościami	18
	1.3. Oddziaływanie między strukturą, własnościami i procesem wytwarzania	22
	Podsumowanie	22
2	Wiązania między atomami	24
	2.1. Struktura atomu	24
	2.2. Wiązania jonowe	32
	2.3. Wiązania kowalencyjne	35
	2.4. Wiązania metaliczne	37
	2.5. Wiązania wtórne (van der Waalsa)	38
	2.6. Energia wiązań między atomami	40
	2.7. Wiązania w poszczególnych kategoriach materiałów	42
	Podsumowanie	44
	Zadania	45
3	Struktura krystaliczna – krystalografia	47
	3.1. Siedem układów krystalograficznych i czternaście typów sieci	47
	3.2. Położenia sieciowe	51
	3.3. Kierunki sieciowe	51
	3.4. Płaszczyzny sieciowe	53
	3.5. Oznaczanie struktur krystalicznych	55
	3.6. Struktura krystaliczna metali	56
	3.7. Struktury o najgęstszym ułożeniu atomów	59
	3.8. Struktury krystaliczne materiałów ceramicznych	64

3.9.	Szklą krzemianowe	74
	Podsumowanie	75
	Zadania	77
4	Własności mechaniczne	82
4.1.	Napężenie i odkształcenie	82
4.2.	Moduły sprężystości	86
4.3.	Odształcenie sprężyste	89
4.4.	Statyczna próba rozciągania	91
4.5.	Twardość	97
4.6.	Udarność	99
4.7.	Odporność na pękanie	102
4.8.	Zmęczenie	105
4.9.	Pełzanie	107
	Podsumowanie	109
	Zadania	110
5	Defekty struktury krystalicznej	113
5.1.	Roztwory stałe. Niedoskonałości chemiczne	113
5.2.	Defekty punktowe	117
	5.2.1. Stężenie defektów punktowych	118
	5.2.2. Dyfuzja	121
5.3.	Dyslokacje – defekty liniowe	131
	5.3.1. Teoretyczna wytrzymałość na napężenia styczne	131
	5.3.2. Dyslokacje	133
	5.3.3. Odształcenie plastyczne	136
	5.3.4. Niektóre własności dyslokacji	139
	5.3.5. Zależność τ od siły rozciągającej	143
5.4.	Defekty powierzchniowe – granice ziarn	145
5.5.	Granice międzyfazowe	154
5.6.	Umocnienie	155
	Podsumowanie	164
	Zadania	165
6	Wykresy fazowe	170
6.1.	Reguła faz	170
6.2.	Ogólne uwagi o wykresach fazowych	171
6.3.	Dwuskładnikowe wykresy fazowe	173
6.4.	Wykres fazowy dla składników o nieograniczonej rozpuszczalności w stanie stałym	174
6.5.	Reguła dźwigni	177
6.6.	Tworzenie mikrostruktury w stopach układu o nieograniczonej rozpuszczalności składników w stanie stałym	179

6.7.	Wykres fazowy dla składników nie rozpuszczających się wzajemnie w stanie stałym	180
6.8.	Wykres fazowy z przemianą eutektyczną, gdy składniki rozpuszczają się w stanie stałym	182
6.9.	Wykres fazowy z przemianą perytektyczną	186
6.10.	Wykres fazowy z przemianą eutektoidalną	187
6.11.	Złożone wykresy fazowe	189
6.12.	Składniki mikrostrukturalne w układzie Fe-Fe ₃ C	190
6.13.	Wykres fazowy Fe-C	196
	Podsumowanie	199
	Zadania	200
7	Zmiany strukturalne	206
7.1.	Siły pędne zmian strukturalnych	206
	7.1.1. Siła pędna krystalizacji	207
	7.1.2. Zmiany struktury w stanie stałym	209
7.2.	Wzrost aktywowany cieplnie (dyfuzyjny)	210
7.3.	Zarodkowanie aktywowane cieplnie (dyfuzyjne)	213
	7.3.1. Zarodkowanie jednorodne	214
	7.3.2. Zarodkowanie niejednorodne	216
	7.3.3. Kinetyka zarodkowania	217
7.4.	Krystalizacja	219
	7.4.1. Krystalizacja równowagowa	219
	7.4.2. Krystalizacja nierównowagowa	220
	7.4.3. Wzrost kryształów podczas krzepnięcia	221
	7.4.4. Segregacja	224
	7.4.5. Struktura odlewu	225
7.5.	Wykresy <i>CTP</i>	226
	7.5.1. Przemiany dyfuzyjne	228
	7.5.2. Przemiana bainityczna	231
	7.5.3. Przemiana martenzytyczna	232
7.6.	Obróbka cieplna stali	238
	7.6.1. Hartowanie	238
	7.6.2. Odpuszczanie	241
	7.6.3. Kruchość odpuszczania	244
	7.6.4. Hartowność	245
	7.6.5. Wyżarzanie	248
	7.6.6. Obróbka powierzchniowa	249
7.7.	Umocnienie wydzieleniowe (umocnienie przez starzenie)	250
7.8.	Struktura materiału odkształconego, zdrowienie i rekrytalizacja	255
	7.8.1. Struktura materiału odkształconego	256
	7.8.2. Zdrowienie	261
	7.8.3. Rekrytalizacja	263
7.9.	Kształt ziarn	269
7.10.	Rozrost ziarn	270
	7.10.1. Kinetyka rozrostu ziarn	273
	7.10.2. Rozrost ziarn w obecności cząstek	274
	Podsumowanie	277
	Zadania	279

8	Metale i ich stopy	282
8.1.	Stale	282
8.1.1.	Składniki zwykłe	283
8.1.2.	Zanieczyszczenia	285
8.1.3.	Pierwiastki stopowe w stali	286
8.1.4.	Wpływ pierwiastków stopowych na własności stali	289
8.1.5.	Podział stali	291
8.1.6.	Oznaczanie stali wg PN-EN 10027-1	292
8.1.7.	Stale konstrukcyjne	295
8.1.8.	Stale narzędziowe	300
8.1.9.	Stale o szczególnych własnościach	301
8.2.	Żeliwa	306
8.3.	Stopy metali nieżelaznych	309
8.3.1.	Stopy Al	311
8.3.2.	Stopy Cu	314
8.3.3.	Stopy Ni i Co	316
8.3.4.	Stopy Ti	320
	Podsumowanie	322
	Zadania	324
9	Materiały ceramiczne i szkła	326
9.1.	Wyroby z gliny	327
9.2.	Nowoczesne (zaawansowane) materiały ceramiczne	330
9.3.	Materiały ogniotrwałe	332
9.4.	Ceramiczne materiały ściernie	335
9.5.	Szkła – ceramiki niekryształiczne	335
9.6.	Tworzywa szklano-ceramiczne (dewitryfikaty)	338
9.7.	Własności materiałów ceramicznych i szkieł	341
9.7.1.	Wytrzymałość materiałów ceramicznych	341
9.7.2.	Odporność materiałów ceramicznych na pękanie	344
9.7.3.	Wpływ czasu na wytrzymałość materiałów ceramicznych	345
9.7.4.	Pełzanie	346
	Podsumowanie	346
	Zadania	348
10	Polimery	350
10.1.	Polimeryzacja	351
10.2.	Struktura polimerów	356
10.3.	Polimery termoplastyczne (termoplasty)	362
10.4.	Polimery termoutwardzalne (duroplasty)	364
10.5.	Elastomery (gumy)	365
10.6.	Dodatki	366
10.7.	Zachowanie się polimerów pod wpływem obciążenia	368
10.8.	Własności polimerów	371
	Podsumowanie	374
	Zadania	375

11	Kompozyty	377
11.1.	Kompozyty włókniste	378
11.2.	Drewno – naturalny kompozyt włóknisty	384
11.3.	Kompozyty agregatowe	387
11.3.1.	Beton	387
11.3.2.	Węgliki spiekane	391
11.4.	Parametry wpływające na własności mechaniczne kompozytu	393
11.5.	Wytrzymałość na rozciąganie	396
11.6.	Porównanie własności mechanicznych kompozytów i stopów metali	398
	Podsumowanie	399
	Zadania	400
12	Formowanie materiałów	404
12.1.	Wytwarzanie wyrobów metalowych	404
12.1.1.	Odlewanie	405
12.1.2.	Obróbka plastyczna na gorąco	408
12.1.3.	Obróbka plastyczna na zimno	410
12.1.4.	Metalurgia proszków	411
12.1.5.	Obróbka skrawaniem	413
12.2.	Formowanie ceramik	413
12.2.1.	Formowanie przez prasowanie i spiekanie	414
12.2.2.	Odlewanie z gęstwy	414
12.2.3.	Spiekanie reaktywne	415
12.3.	Formowanie szkła	415
12.4.	Formowanie polimerów	417
12.4.1.	Formowanie przez wtrysk	418
12.4.2.	Formowanie przez wytłaczanie (wyciskanie)	418
12.4.3.	Formowanie przez rozdmuchiwanie	419
12.4.4.	Formowanie przez prasowanie	420
12.4.5.	Formowanie przez odlewanie	421
12.5.	Wytwarzanie kompozytów	421
12.5.1.	Wytwarzanie włókien	422
12.5.2.	Układanie włókien	423
12.5.3.	Formowanie wyrobów	424
12.5.4.	Odlewanie kompozytu agregatowego o osnowie metalowej	425
	Podsumowanie	426
13	Korozja	428
13.1.	Korozja chemiczna	429
13.1.1.	Siła pędna utleniania (energia utleniania)	430
13.1.2.	Mechanizm wzrostu warstwy tlenku	431
13.1.3.	Szybkość utleniania	432
13.1.4.	Warstwy ochronne (tlenki ochronne)	434
13.2.	Korozja elektrochemiczna	436
13.2.1.	Elementy składowe ogniwa elektrochemicznego	437
13.2.2.	Reakcje na anodzie	437

13.2.3.	Reakcje na katodzie	438
13.2.4.	Różnica napięć jako siła pędna korozji elektrochemicznej	439
13.2.5.	Szereg galwaniczny	440
13.2.6.	Pasywność metali	441
13.2.7.	Polaryzacja	441
13.3.	Rodzaje korozji elektrochemicznej (rodzaje ogniw korozyjnych)	442
13.4.	Metody zapobiegania korozji elektrochemicznej	446
13.4.1.	Projektowanie	446
13.4.2.	Wybór materiału i obróbki	448
13.4.3.	Powłoki ochronne	449
13.4.4.	Inhibitory	451
13.4.5.	Ochrona katodowa	451
13.4.6.	Pasywacja lub ochrona anodowa	452
	Podsumowanie	453
	Zadania	454
14	Własności elektryczne materiałów	456
14.1.	Przewodnictwo elektryczne	456
14.2.	Struktura pasmowa	459
14.2.1.	Model Fermiego	460
14.2.2.	Struktura pasmowa metali	462
14.2.3.	Struktura pasmowa izolatorów i półprzewodników	464
14.3.	Ruchliwość elektronów	467
14.3.1.	Opór elektryczny metali	467
14.3.2.	Przewodność innych materiałów	470
14.4.	Półprzewodniki samoistne	471
14.4.1.	Dziury elektronowe	472
14.4.2.	Przewodnictwo pierwiastkowych półprzewodników samoistnych	472
14.5.	Półprzewodniki domieszkowe	477
14.5.1.	Półprzewodnik domieszkowy typu <i>n</i>	477
14.5.2.	Półprzewodnik domieszkowy typu <i>p</i>	480
14.6.	Urządzenia półprzewodnikowe	482
14.6.1.	Złącze prostujące <i>p-n</i>	483
14.6.2.	Tranzystor	485
14.6.3.	Obwody scalone	487
14.7.	Dipole i polaryzacja	487
14.8.	Własności dielektryczne	488
14.9.	Ferroelektryczność	492
14.10.	Piezoelektryczność	495
	Podsumowanie	496
	Zadania	497
15	Własności magnetyczne materiałów	500
15.1.	Pochodzenie momentów magnetycznych	500
15.2.	Wielkości magnetyczne	504
15.3.	Zachowanie magnetyczne materiałów	506
15.3.1.	Diamagnetyzm	506

15.3.2.	Paramagnetyzm	507
15.3.3.	Ferromagnetyzm	508
15.3.4.	Antyferromagnetyzm	509
15.3.5.	Ferrimagnetyzm	510
15.4.	Wpływ temperatury na zachowanie magnetyczne	511
15.5.	Struktura domenowa	512
15.6.	Pętla histerezy	514
15.7.	Magnetostrykcja	517
15.8.	Materiały magnetyczne	518
15.8.1.	Straty energii	519
15.8.2.	Materiały magnetyczne miękkie	520
15.8.3.	Materiały magnetyczne twarde	525
	Podsumowanie	526
	Zadania	528
16	Własności optyczne materiałów	529
16.1.	Stałe optyczne	531
16.2.	Absorpcja światła	536
16.3.	Selektywna absorpcja, transmisja i odbicie	538
16.4.	Zastosowanie promieniowania elektromagnetycznego	539
	Podsumowanie	549
	Zadania	549
17	Własności cieplne materiałów	551
17.1.	Podstawy	551
17.2.	Ciepło właściwe	552
17.3.	Przewodnictwo cieplne	556
17.4.	Rozszerzalność cieplna	560
17.5.	Naprężenia cieplne	563
	Podsumowanie	567
	Zadania	567
	Literatura	569
	Pojęcia i ich definicje	571
	Tablice uzupełniające	592