

Spis treści

Przedmowa do trzeciego wydania	9
1. Ogólna charakterystyka materiałów	11
1.1. Znaczenie materiałów w procesach wytwarzania produktów	11
1.1.1. Procesy wytwarzania	11
1.1.2. Materiały wykorzystywane w procesach wytwarzania	12
1.2. Podstawowe grupy materiałów inżynierskich	20
1.2.1. Metale i ich stopy	20
1.2.2. Polimery	22
1.2.3. Materiały ceramiczne	24
1.2.4. Materiały kompozytowe	31
1.3. Własności różnych grup materiałów technicznych	34
1.3.1. Porównanie fizycznych i chemicznych własności materiałów	34
1.3.2. Porównanie kosztów materiałów technicznych i wytwarzanych z nich produktów	42
1.4. Uzasadnienie potrzeby uczenia się inżynierii materiałowej i metaloznawstwa	45
2. Struktura metali	49
2.1. Budowa materii	49
2.1.1. Materia i jej składniki	49
2.1.2. Budowa atomu	51
2.1.3. Stany energetyczne elektronu w atomie	54
2.1.4. Klasyfikacja pierwiastków chemicznych	55
2.1.5. Wiązania między atomami	58
2.2. Krystaliczna struktura metali	60
2.2.1. Kryształy metali	60
2.2.2. Sieć przestrzenna kryształu oraz jej elementy	61
2.2.3. Układy krystalograficzne i typy sieci przestrzennej	62
2.2.4. Wskaźnikowanie elementów sieci przestrzennych	65
2.2.5. Podstawowe struktury sieciowe metali	66
2.3. Rzeczywista struktura metali	71
2.3.1. Klasyfikacja wad budowy krystalicznej	71
2.3.2. Wady punktowe budowy krystalicznej	71
2.3.3. Dyslokacje	72
2.3.4. Oddziaływanie między dyslokacjami	77
2.3.5. Rozmnażanie dyslokacji	79
2.3.6. Reakcje między dyslokacjami	81

2.3.7.	Błędy ułożenia	82
2.3.8.	Polikrystaliczna struktura metali	83
2.3.9.	Granice ziarn i granice międzyfazowe	84
2.3.10.	Wpływ wad budowy krystalicznej na własności metali	86
3.	Stopy metali i ich struktura	89
3.1.	Stopy metali i fazy stopowe	89
3.1.1.	Ogólne wiadomości o stopach metali	89
3.1.2.	Roztwory stałe i czynniki warunkujące ich tworzenie	90
3.1.3.	Fazy międzymetaliczne	93
3.1.4.	Fazy międzywęzłowe i o strukturach złożonych	98
3.1.5.	Mieszanki faz	101
3.2.	Układy równowagi fazowej	103
3.2.1.	Równowaga termodynamiczna układu i energia swobodna	103
3.2.2.	Reguła dźwigni	105
3.2.3.	Reguła faz	106
3.2.4.	Wykresy równowagi fazowej i metody ich wyznaczania	107
3.2.5.	Dwuskładnikowy układ równowagi fazowej o zupełnej rozpuszczalności w stanie stałym	108
3.2.6.	Dwuskładnikowy układ równowagi fazowej o całkowitym braku rozpuszczalności w stanie stałym z eutektyką	110
3.2.7.	Dwuskładnikowy układ równowagi fazowej o ograniczonej rozpuszczalności w stanie stałym z eutektyką	111
3.2.8.	Dwuskładnikowy układ równowagi fazowej o ograniczonej rozpuszczalności w stanie stałym z perytektiką	112
3.2.9.	Dwuskładnikowy układ równowagi o ograniczonej zmiennej rozpuszczalności w stanie stałym	113
3.2.10.	Dwuskładnikowy układ równowagi z fazami międzymetalicznymi	114
3.2.11.	Dwuskładnikowe układy równowagi fazowej z przemianami w stanie stałym	115
3.2.12.	Trójskładnikowe układy równowagi fazowej	115
4.	Krystalizacja metali i stopów	119
4.1.	Podstawy teoretyczne krystalizacji	119
4.1.1.	Ciekły i gazowy stan skupienia metali	119
4.1.2.	Termodynamiczne warunki krystalizacji	120
4.1.3.	Tworzenie zarodków krystalizacji	121
4.1.4.	Mechanizmy wzrostu kryształów	124
4.1.5.	Kinetyka procesów krystalizacji	125
4.1.6.	Krystalizacja czystych metali	126
4.1.7.	Krystalizacja stopów metali o strukturze roztworów stałych	128
4.1.8.	Krystalizacja stopów metali o strukturze mieszanin eutektycznych	130
4.1.9.	Krystalizacja stopów metali o strukturze mieszanin perytektycznych	132
4.2.	Krzepnięcie wlewka stalowego	134
4.2.1.	Struktura krystaliczna wlewka stalowego	134
4.2.2.	Segregacja chemiczna we wlewkach stalowych	135
4.2.3.	Struktura wlewka stali nieuspokojonej	136
4.2.4.	Wpływ odfeniania kąpieli metalicznej na strukturę wlewka stalowego	137
4.2.5.	Wady wlewków stalowych	139
4.2.6.	Nowoczesne metody metalurgiczne ograniczające wady wlewków stalowych	140

5. Stopy żelaza z węglem	145
5.1. Układ żelazo-węgiel	145
5.1.1. Żelazo i jego własności	145
5.1.2. Wykresy równowagi układu żelazo-węgiel	146
5.1.3. Przemiany fazowe podczas chłodzenia stopów żelaza z węglem	151
5.1.4. Ogólna klasyfikacja stopów żelaza z węglem	155
5.2. Stale i staliwa węglowe	157
5.2.1. Podział stali węglowych (niestopowych)	157
5.2.2. Struktura i własności stali węglowych (niestopowych)	157
5.2.3. Stale węglowe (niestopowe)	160
5.2.4. Ogólna charakterystyka stali węglowych	167
5.3. Żeliwa węglowe	171
5.3.1. Ogólna klasyfikacja żeliw węglowych	171
5.3.2. Grafit jako składnik strukturalny żeliwa	172
5.3.3. Wpływ szybkości chłodzenia na strukturę i własności żeliw	174
5.3.4. Żeliwa szare węglowe	177
5.3.5. Żeliwo białe i połowiczne	180
5.3.6. Żeliwo ciągliwe	181
5.3.7. Porównanie własności żeliw węglowych	182
6. Korozja metali i stopów	185
6.1. Korozja, jej odmiany i mechanizmy	185
6.1.1. Korozja i jej skutki	185
6.1.2. Odmiany zniszczeń korozyjnych	186
6.1.3. Korozja elektrochemiczna	188
6.1.4. Czynniki decydujące o przebiegu korozji elektrochemicznej	190
6.1.5. Korozja gazowa	195
6.1.6. Mechanizmy powstawania zgorzelin	197
6.1.7. Czynniki wpływające na korozję gazową	202
6.2. Ochrona przed korozją	204
6.2.1. Uwagi ogólne	204
6.2.2. Dobór składu chemicznego stopów w celu zwiększenia odporności na korozję	205
6.2.3. Ochrona katodowa, protektorowa i anodowa	206
6.2.4. Inhibitory	208
6.2.5. Powłoki i warstwy ochronne	209
6.2.6. Inne sposoby zapobiegania korozji	212
7. Podstawy obróbki plastycznej i obróbki cieplno-mechanicznej metali	213
7.1. Podstawy obróbki plastycznej	213
7.2. Mechanizmy odkształcania plastycznego metali na zimno	215
7.2.1. Poślizg	215
7.2.2. Bliźniakowanie	217
7.2.3. Odkształcenie plastyczne na zimno metali polikrystalicznych	218
7.3. Procesy aktywowane cieplnie związane z odkształceniem plastycznym metali	220
7.3.1. Zdrowienie statyczne	220
7.3.2. Rekrytalizacja statyczna	222
7.3.3. Zdrowienie dynamiczne	227
7.3.4. Rekrytalizacja dynamiczna	229

7.4. Mechanizmy odkształcenia plastycznego metali na gorąco	230
7.4.1. Pełzanie dyslokacyjne	230
7.4.2. Pełzanie dyfuzyjne	233
7.4.3. Poślizg po granicach ziarn	234
7.5. Obróbka cieplno-mechaniczna metali	235
8. Zwykła obróbka cieplna stali	238
8.1. Ogólny opis obróbki cieplnej	238
8.2. Przemiany fazowe zachodzące podczas zwykłej obróbki cieplnej stali	241
8.2.1. Przemiany w stali podczas nagrzewania	241
8.2.2. Znaczenie wielkości ziarn austenitu pierwotnego	242
8.2.3. Metody ujawniania ziarn austenitu pierwotnego	243
8.2.4. Przemiany w stali podczas chłodzenia	244
8.2.5. Wykresy przemian austenitu przechłodzonego podczas chłodzenia izotermicznego i ciągłego	253
8.2.6. Przemiany w stali podczas odpuszczania	255
8.2.7. Kruchość odpuszczania	257
8.3. Zarys technologii zwykłej obróbki cieplnej	259
8.3.1. Dobór czasu grzania	259
8.3.2. Ośrodki grzejne ciekłe	263
8.3.3. Chłodzenie i ośrodki chłodzące	265
8.3.4. Wyzarzanie	266
8.3.5. Hartowanie	268
8.3.6. Hartowanie powierzchniowe	271
8.3.7. Hartowność stali	274
8.3.8. Odpuszczanie	281
8.3.9. Odpuszczalność	282
8.3.10. Utwardzanie dyspersyjne	284
8.3.11. Obróbka podzerowa	286
8.3.12. Naprężenia własne w obróbce cieplnej	286
8.3.13. Wady powstające podczas obróbki cieplnej	288
9. Obróbka cieplno-chemiczna stali	294
9.1. Podstawy teoretyczne obróbki cieplno-chemicznej	294
9.1.1. Obróbka cieplno-chemiczna stali i jej klasyfikacja	294
9.1.2. Zjawiska fizykochemiczne zachodzące podczas obróbki cieplno-chemicznej	298
9.2. Dyfuzyjne nasywanie stali niemetalami i metalami	301
9.2.1. Nawęglanie	301
9.2.2. Azotowanie	305
9.2.3. Kompleksowe nasywanie azotem i innymi pierwiastkami	309
9.2.4. Borowanie	312
9.2.5. Dyfuzyjne nasywanie stali pierwiastkami metalicznymi	313
9.2.6. Specjalne metody kompleksowej obróbki cieplno-chemicznej	314
10. Rola pierwiastków stopowych w stalach	318
10.1. Dodatki stopowe w stalach	318
10.2. Znaczenie pierwiastków stopowych rozpuszczonych w roztworach stałych	318
10.2.1. Wpływ pierwiastków stopowych rozpuszczonych w roztworach stałych na przemiany alotropowe i punkty krytyczne układu Fe-Fe ₃ C	318

10.2.2. Wpływ pierwiastków stopowych rozpuszczonych w roztworach stałych na procesy tworzenia się i ujednorodniania austenitu podczas obróbki cieplnej stali	321
10.2.3. Wpływ pierwiastków stopowych rozpuszczonych w austenicie na kinetykę przemian austenitu podczas chłodzenia	322
10.2.4. Wpływ pierwiastków stopowych rozpuszczonych w austenicie na hartowność stali	324
10.3. Znaczenie pierwiastków stopowych związanych w węglkach i azotkach	324
10.3.1. Pierwiastki stopowe tworzące węgliki	324
10.3.2. Pierwiastki stopowe tworzące azotki	327
10.4. Znaczenie pierwiastków stopowych związanych w fazach międzymetalicznych, wtrąceniach niemetalicznych i fazach obcych	327
10.4.1. Fazy międzymetaliczne w stalach i stopach żelaza	327
10.4.2. Wtrącenia niemetaliczne i fazy obce	329
10.5. Wpływ pierwiastków stopowych na podstawowe własności stali i innych stopów żelaza	331

11. Stale stopowe i ich znaczenie 332

11.1. Podział stali stopowych	332
11.2. Stale konstrukcyjne stopowe i ich obróbka cieplna	332
11.2.1. Ogólna charakterystyka stali konstrukcyjnych stopowych	332
11.2.2. Niskostopowe stale konstrukcyjne spawalne o podwyższonej wytrzymałości	334
11.2.3. Stale konstrukcyjne stopowe do ulepszenia cieplnego	337
11.2.4. Stale konstrukcyjne stopowe do azotowania	344
11.2.5. Stale sprężynowe	344
11.2.6. Stale konstrukcyjne stopowe do nawęglania	346
11.2.7. Stale stopowe na łożyska toczne	347
11.3. Stale narzędziowe stopowe i ich obróbka cieplna	350
11.3.1. Ogólna charakterystyka stali narzędziowych stopowych	350
11.3.2. Stale narzędziowe stopowe do pracy na zimno	351
11.3.3. Stale narzędziowe stopowe do pracy na gorąco	353
11.3.4. Stale szybko tnące	357
11.4. Stale i stopy żelaza o szczególnych własnościach	365
11.4.1. Ogólna charakterystyka stali i stopów żelaza o szczególnych własnościach	365
11.4.2. Stale odporne na korozję	366
11.4.3. Stale stopowe do pracy w podwyższonej temperaturze	372
11.4.4. Stale żaroodporne i żarowytrzymałe	376
11.4.5. Stale zaworowe	378
11.4.6. Stale i stopy oporowe	380
11.4.7. Nadstopy i stopy wysokożarowytrzymałe	381
11.4.8. Stale do pracy w obniżonej temperaturze	382
11.4.9. Wysokowytrzymałe niskowęglowe stale martenzytyczne utwardzane dyspersyjnie, typu „maraging”	385
11.4.10. Stale odporne na ścieranie	388
11.4.11. Stale i stopy o szczególnych własnościach magnetycznych	389

12. Żeliwa i staliwa stopowe 393

12.1. Żeliwa stopowe	393
12.1.1. Ogólna charakterystyka żeliw stopowych	393
12.1.2. Żeliwa o podwyższonej odporności na ścieranie	395
12.1.3. Żeliwa stopowe odporne na korozję	400
12.1.4. Żeliwa stopowe żaroodporne i żarowytrzymałe	400

12.1.5.	Żeliwa stopowe do pracy w niskiej temperaturze	401
12.1.6.	Żeliwa o specjalnych właściwościach fizycznych	401
12.2.	Staliwa stopowe	402
12.2.1.	Ogólna charakterystyka staliw stopowych	402
12.2.2.	Staliwa stopowe konstrukcyjne	402
12.2.3.	Staliwa stopowe odporne na korozję	405
12.2.4.	Staliwa stopowe żaroodporne i żarowytrzymałe	405
12.2.5.	Staliwa stopowe narzędziowe	405
13.	Metale nieżelazne i ich stopy	408
13.1.	Miedź i jej stopy	408
13.1.1.	Miedź	408
13.1.2.	Ogólna klasyfikacja stopów miedzi	410
13.1.3.	Mosiądze	410
13.1.4.	Miedzionikle	414
13.1.5.	Brązy cynowe	415
13.1.6.	Brązy aluminowe	418
13.1.7.	Brązy berylowe	422
13.1.8.	Brązy krzemowe	423
13.1.9.	Brązy manganowe	424
13.2.	Aluminium i jego stopy	426
13.2.1.	Aluminium	426
13.2.2.	Ogólna klasyfikacja stopów aluminium	428
13.2.3.	Stopy aluminium z krzemem	429
13.2.4.	Stopy aluminium z magnezem	432
13.2.5.	Stopy aluminium z miedzią	434
13.2.6.	Wieloskładnikowe stopy aluminium z cynkiem	438
13.2.7.	Stopy aluminium z manganem	438
13.3.	Pozostałe metale nieżelazne i ich stopy	441
13.3.1.	Nikiel	441
13.3.2.	Stopy niklu	442
13.3.3.	Cynk i jego stopy	443
13.3.4.	Magnez i jego stopy	445
13.3.5.	Cyna i ołów oraz ich stopy	446
13.3.6.	Metale trudno topliwe i ich stopy	449
13.3.7.	Kobalt i jego stopy	451
13.3.8.	Metale szlachetne i ich stopy	452
13.3.9.	Stopy metali nieżelaznych z pamięcią kształtu	453
14.	Materiały i produkty spiekane	459
14.1.	Ogólna charakterystyka metalurgii proszków i otrzymywania materiałów spiekanych	459
14.2.	Przegląd materiałów i produktów spiekanych z proszków	461
14.2.1.	Masowo produkowane produkty spiekane ze stali i stopów metali nieżelaznych	461
14.2.2.	Łożyska i filtry spiekane	461
14.2.3.	Spiekane styki i przewodniki elektryczne	463
14.2.4.	Spiekane materiały magnetycznie twarde i magnetycznie miękkie	464
14.2.5.	Spiekane materiały narzędziowe	465
14.2.6.	Spiekane materiały odporne na korozję, żaroodporne i żarowytrzymałe	483
	Literatura uzupełniająca	486