

Inżynieria metali i technologie materiałowe
redakcja naukowa Stanisław J. Skrzypek
Karol Przybyłowicz

Spis treści

Znaczenie materiałów metalicznych w historycznych epokach rozwoju i we współczesnej technice i technologii STANISŁAW JAN SKRZYPEK, KAROL PRZYBYŁOWICZ XIX

Literatura źródłowa i uzupełniająca XXXIII

Przedmowa do wydania drugiego, zmienionego STANISŁAW J. SKRZYPEK, KAROL PRZYBYŁOWICZ XXXV

Znaczenie metali w rozwoju ludzkości XXXV

Podział metali XXXVI

Przyszłość i trendy rozwojowe w inżynierii materiałów metalicznych XXXVII

O literaturze przedmiotu XXXIX

O książce XLI

Podziękowania XLI

1. Fizyczne podstawy metaloznawstwa KAROL PRZYBYŁOWICZ, RAFAŁ DZIURKA 1

1.1. Budowa atomowa metali 1

1.1.1. Modele atomowe 1

1.1.2. Klasyfikacja metali 4

1.1.3. Wielkość atomu 5

1.1.4. Wiązania międzyatomowe 7

1.2. Podstawy termodynamiki stopów 9

1.2.1. Podstawowe pojęcia termodynamiki stopów 9

1.2.2. Energia wewnętrzna – I zasada termodynamiki 10

1.2.3. Entalpia 11

1.2.4. Entropia 11

1.2.5. Entropia statystyczna 11

1.2.6. Energia swobodna 12

1.2.7. Entropia mieszania roztworów w kryształach 13

1.2.8. Energia swobodna faz stopu 15

1.2.9. Energia swobodna roztworów stałych	15
1.3. Wykresy równowagi	16
1.3.1. Znaczenie wykresów równowagi	16
1.3.2. Reguła faz	16
1.3.3. Mieszanina faz – reguła dźwigni	17
1.3.4. Metody sporządzania wykresów równowagi	18
Literatura źródłowa i uzupełniająca	25
2. Krzepnięcie metali i stopów KAROL PRZYBYŁOWICZ, JAN TUREK	26
2.1. Pojęcia ogólne	26
2.2. Mechanizm krystalizacji	27
2.2.1. Prawo Tammanna	27
2.2.2. Zarodkowanie	29
2.2.3. Wzrost zarodków	31
2.3. Krystalizacja stopów	34
2.4. Nierównowagowe krzepnięcie	37
2.5. Krystalizacja i struktura wlewka	38
2.6. Odlewanie ciągle	39
2.7. Zjawiska towarzyszące krystalizacji	40
2.8. Wytwarzanie monokryształów i bikryształów	41
2.9. Wiskery	42
2.10. Amorfizacja stopów metali	43
Literatura źródłowa i uzupełniająca	45
3. Krystaliczny stan materii – elementy krystalografii stosowanej STANISŁAW JAN SKRZYPEK, MARCIN GOŁY	46
3.1. Elementy krystalografii materiałów krystalicznych	46
3.2. Stan krystaliczny, sieci przestrzenne i symetria	47
3.2.1. Sieci i układy krystalograficzne	49
3.2.2. Wskaźnikowanie kierunków krystalograficznych – wskaźniki $\langle uvw \rangle$	52
3.2.3. Wskaźnikowanie płaszczyzn krystalograficznych – wskaźniki $\{hkl\}$	54
3.2.4. Przestrzeń między atomami i defekty sieciowe	56
3.2.5. Elementy symetrii i przekształcenia symetryczne	59

3.2.6. Parametry komórki elementarnej i odległości między płaszczyznami krystalograficznymi (dhkl) 64

3.3. Praktyczne znaczenie wiedzy krystalograficznej 65

3.3.1. Pas krystalograficzny 65

3.3.2. Elementy rzutu stereograficznego kryształów 67

3.3.3. Roztwory stałe – prawo Vegarda 68

3.3.4. Gęstość teoretyczna 70

3.3.5. Krystalografia odkształcenia – odkształcenie sprężyste i plastyczne, systemy poślizgu 71

3.3.6. Krystalograficzny model przemian fazowych i martenzytycznych 76

3.4. Dyfrakcja promieniowania X na sieci krystalicznej. Prawo Bragga – dyfrakcyjne metody badawcze 77

3.4.1. Dyfrakcyjna rentgenowska analiza fazowa 78

3.4.2. Orientacja monokryształu 79

3.4.3. Uprzywilejowana orientacja ziaren polikryształu – tekstura krystalograficzna 81

Literatura źródłowa i uzupełniająca 84

4. Defekty sieci krystalicznej i ich rola WŁODZIMIERZ BOCHNIAK, KAROL PRZYBYŁOWICZ 86

4.1. Defekty sieci krystalicznej 86

4.1.1. Rzeczywista budowa materiałów metalicznych 86

4.1.2. Defekty budowy sieci krystalicznej 88

4.2. Rola defektów sieci krystalicznej w odkształceniu plastycznym 100

4.2.1. Poślizg dyslokacji i jego uwarunkowania 100

4.2.2. Umocnienie odkształceniowe 106

4.2.3. Zmiana drogi odkształcenia 109

4.2.4. Zlokalizowane plastyczne płynięcie 113

4.2.5. Sterowanie procesami obróbki plastycznej 115

4.2.6. Lepkie płynięcie metali 119

4.2.7. Nadplastyczność strukturalna metali 123

4.3. Negatywne skutki defektów sieci krystalicznej 124

4.3.1. Kruchość 124

4.3.2. Zmęczenie metali	126
4.3.3. Pełzanie	126
4.4. Rola defektów sieciowych w dyfuzji	127
4.4.1. Istota dyfuzji	127
4.4.2. Czynniki wpływające na dyfuzję	128
4.4.3. Mechanizmy dyfuzji	130
4.4.4. Praktyczne znaczenie dyfuzji	134
4.5. Przemiany dyfuzyjne	135
4.5.1. Zdrowienie	135
4.5.2. Rekrytalizacja	136
4.5.3. Rozrost ziarna	139
4.5.4. Starzenie po zgnioście	140
4.5.5. Praktyczne znaczenie rekrytalizacji	141
4.5.6. Utwardzanie wydzieleniowe	142
Literatura źródłowa i uzupełniająca	143
5. Przetwórstwo metali i stopów	STANISŁAW TURCZYN, ANDRZEJ NOWAKOWSKI 146
5.1. Klasyfikacja metod przetwarzania	146
5.1.1. Plastyczność	147
5.1.2. Obróbka plastyczna na gorąco i na zimno	148
5.2. Metody obróbki plastycznej	149
5.2.1. Walcowanie	149
5.2.2. Wyciskanie	156
5.2.3. Ciągnienie	159
5.2.4. Kucie	163
5.2.5. Tłoczenie	166
5.2.6. Formowanie hydromechaniczne (hydroforming)	167
5.2. Obróbka cieplno-plastyczna	168
5.3.1. Obróbka cieplno-plastyczna stali	168
5.3.2. OCP stopów metali nieżelaznych	170
5.4. Wytwarzanie nanomateriałów przez intensywne odkształcenie plastyczne	172

Literatura źródłowa i uzupełniająca 172

6. Odlewnictwo metali i stopów ZBIGNIEW BONDEREK, STANISŁAW RZADKOSZ 174

6.1. Wprowadzenie 174

6.2. Ogólna charakterystyka metod wytwarzania odlewów 176

6.2.1. Odlewanie metali i stopów w formach piaskowych 176

6.2.2. Odlewanie grawitacyjne w formach metalowych 179

6.2.3. Metody odlewania odśrodkowego 180

6.2.4. Odlewanie pod niskim ciśnieniem 182

6.2.5. Odlewnictwo ciśnieniowe 184

6.2.6. Inne metody odlewania precyzyjnego 188

6.3. Zanieczyszczenia gazowe i niemetaliczne w stopach 190

6.3.1. Powstawanie zanieczyszczeń 190

6.3.2. Metody rafinacji metali i stopów 194

6.4. Technologia odlewania stopów aluminium 196

6.5. Odlewnictwo miedzi i jej stopów 202

6.6. Technologia odlewania brązów cynowych 205

6.7. Technologia odlewania brązów aluminiowych 207

6.8. Technologia odlewania brązów krzemowych 209

6.9. Technologia odlewania mosiądzów 210

6.10. Technologia odlewnia stopów cynku 211

Literatura źródłowa i uzupełniająca 213

7. Metalurgia proszków i spieki metali HANNA FRYDRYCH, ANDRZEJ CIAŚ 215

7.1. Wprowadzenie 215

7.2. Metody wytwarzania proszków 218

7.3. Prasowanie 219

7.4. Spiekanie 222

7.5. Spieki 225

7.5.1. Spieki żelaza, stale spiekane i spieki stalowe 225

7.5.2. Proszki żelaza i stali . 228

7.5.3. Spiekane części maszyn 228

- 7.5.4. Technologia spiekania 233
- 7.5.5. Spiekane stale stopowe 235
- 7.5.6. Spiekane aluminium 236
- 7.5.7. Brązy spiekane 238
- 7.5.8. Spiekane łożyska ślizgowe 240
- 7.5.9. Filtry 241
- 7.5.10. Materiały cierne 243
- 7.5.11. Styki elektryczne 245

Literatura źródłowa i uzupełniająca 247

8. Inżynieria powierzchni metali KAROL PRZYBYŁOWICZ, PIOTR KULA 248

- 8.1. Wprowadzenie 248
- 8.2. Obróbka nagniataniem 249
 - 8.2.1. Nagniatanie mechaniczne 249
 - 8.2.2. Nagniatanie elektromechaniczne (termomechaniczne) 250
- 8.3. Obróbka tarciami 250
- 8.4. Obróbka cieplno-chemiczna 250
 - 8.4.1. Nawęglanie stali 251
 - 8.4.2. Azotowanie 256
 - 8.4.3. Węgloazotowanie 258
 - 8.4.4. Siarkowanie dyfuzyjne 258
 - 8.4.5. Borowanie stali 259
 - 8.4.6. Fosforowanie stali 261
 - 8.4.7. Wytwarzanie warstw wierzchnich ze związków 261
 - 8.4.8. Metalizowanie dyfuzyjne 262
 - 8.4.9. Zasady bhp przy obróbce cieplnej i cieplno-chemicznej 265
- 8.5. Hartowanie powierzchniowe 266
 - 8.5.1. Nagrzewanie płomieniowe 266
 - 8.5.2. Nagrzewanie indukcyjne 266
 - 8.5.3. Nagrzewanie kąpielowe 267
 - 8.5.4. Nagrzewanie w elektrolicie 267

8.5.5. Nagrzewanie elektryczne kontaktowo-oporowe	268
8.6. Napawanie	268
8.7. Metody jarzeniowe (jonowe)	269
8.8. Metody natryskowe	271
8.8.1. Metalizacja natryskowa	271
8.8.2. Natryskiwanie elektroiskrowe	271
8.8.3. Natryskiwanie plazmowe	272
8.8.4. Natryskiwanie „zimnym gazem”	273
8.8.5. Natryskiwanie detonacyjne	273
8.9. Wytwarzanie powłok z fazy gazowej	274
8.9.1. Naparowanie próżniowe	274
8.9.2. Rozpylanie	274
8.10. Powłoki galwaniczne	275
8.10.1. Powłoki chromowe	275
8.10.2. Powłoki żelazne	276
8.10.3. Powłoki żelazo-niklowe	276
8.11. Powłoki chemiczne	276
8.11.1. Powłoki tlenkowe zol-żel	276
8.11.2. Powłoki konwersyjne	277
8.12. Obróbki laserowa i elektronowa	278
8.12.1. Obróbka laserowa	278
8.12.2. Obróbka elektronowa	279
8.13. Implantacja jonów	280
8.14. Powłoki hybrydowe	281
8.15. Zużycie warstwy wierzchniej	281
8.15.1. Zużycie ściernie (abrazyjne)	281
8.15.2. Zużycie erozyjne i udarowe	282
8.15.3. Korozja metali i zużycie korozyjne	283
8.16. Badanie warstw wierzchnich	286
Literatura źródłowa i uzupełniająca	288
9. Inżynieria spajania metali KRZYSZTOF PAŃCIKIEWICZ, EDMUND TASAK	290

9.1. Wprowadzenie	290
9.2. Klasyfikacja procesów spajania	290
9.2.1. Spajanie z użyciem chemicznej reakcji spalania i reakcji egzotermicznych	292
9.2.2. Spajanie z użyciem łuku elektrycznego	293
9.2.3. Spajanie z użyciem promieniowania elektromagnetycznego	296
9.2.4. Spajanie z wydzielaniem ciepła Joule’a–Lenza i z użyciem indukcji elektromagnetycznej	297
9.2.5. Spajanie z użyciem tarcia lub docisku mechanicznego	299
9.2.6. Spajanie z użyciem innych źródeł ciepła	300
9.3. Budowa złączy spajanych	300
9.4. Metalurgia i spajalność materiałów metalowych	302
9.5. Struktura i właściwości mechaniczne złączy spajanych	303
9.5.1. Złącza spawane stali niestopowych po walcowaniu na gorąco	304
9.5.2. Złącza spawane stali niestopowych po walcowaniu na zimno	305
9.5.3. Złącza spawane stali niestopowych po walcowaniu termomechanicznym i po ulepszaniu cieplnym	305
9.5.4. Złącza spawane stali przeznaczonych do pracy w obniżonych temperaturach	306
9.5.5. Złącza spawane stali przeznaczonych do pracy w podwyższonych temperaturach	306
9.5.6. Złącza spawane stali stopowych chromowych ferrytycznych odpornych na korozję	307
9.5.7. Złącza spawane stali stopowych chromowych półferrytycznych odpornych na korozję	308
9.5.8. Złącza spawane stali stopowych chromowych martenzytycznych odpornych na korozję	308
9.5.9. Złącza spawane stali stopowych chromowo-niklowych austenitycznych odpornych na korozję	308
9.5.10. Złącza spawane stali stopowych chromowo-niklowych dwufazowych odpornych na korozję	308
9.5.11. Złącza spawane żeliwa	309
9.5.12. Złącza spawane stopów aluminium	310
9.6. Zapewnienie jakości połączeń spajanych i ich badanie	310

9.7. Projektowanie złączy spajanych	311
Literatura źródłowa i uzupełniająca	311
10. Aluminium i jego stopy MARIAN BRONICKI, ANTONI WOŹNICKI	313
10.1. Produkcja oraz zastosowanie aluminium i jego stopów	313
10.2. Otrzymywanie aluminium	314
10.2.1. Aluminium pierwotne	314
10.2.2. Aluminium wtórne	316
10.3. Systemy oznaczeń aluminium i jego stopów	316
10.3.1. Oznaczenia stopów aluminium przeznaczonych do obróbki plastycznej	316
10.3.2. Oznaczenia gąsek do przetopienia, odlewów i stopów wstępnych	318
10.4. Obróbka cieplna wlewków z aluminium i jego stopów	320
10.5. Kształtowanie właściwości aluminium serii 1xxx	325
10.6. Stopy aluminium do obróbki plastycznej i ich obróbka cieplna	329
10.6.1. Stopy serii 3xxx i 5xxx	329
10.6.2. Stopy serii 2xxx, 6xxx i 7xxx	333
10.6.3. Stopy aluminium z dodatkiem litu	343
10.7. Odlewnicze stopy aluminium i ich obróbka cieplna	346
10.7.1. Stopy Al-Si	347
10.7.2. Stopy Al-Cu	347
10.7.3. Stopy Al-Mg	348
10.7.4. Stopy Al-Si-Mg	348
10.7.5. Stopy Al-Si-Cu	348
10.7.6. Stopy Al-Zn-Mg	349
10.7.7. Rola dodatków w odlewniczych stopach aluminium	349
10.7.8. Obróbka cieplna odlewów	350
10.8. Wpływ aluminium na zdrowie człowieka	351
Literatura źródłowa i uzupełniająca	354
11. Magnez i jego stopy ANDRZEJ DZIADOŃ	357
11.1. Wprowadzenie	357
11.2. Metalurgia magnezu	358

11.3. Właściwości magnezu	359
11.3.1. Struktura i mechanizm odkształcenia	359
11.3.2. Właściwości fizyczne	360
11.3.3. Właściwości mechaniczne	360
11.3.4. Właściwości chemiczne magnezu	362
11.4. Skład chemiczny magnezu niestopowego wg P N-EN 12421: 2001	363
11.5. Otrzymywanie stopów magnezu	363
11.6. Pierwiastki występujące w stopach magnezu	364
11.7. Obróbka cieplna stopów magnezu	367
11.8. Odlewnicze stopy magnezu	371
11.8.1. Uwagi ogólne o odlewaniu stopów magnezu	371
11.8.2. Stopy magnezu z aluminium	372
11.8.3. Stopy magnez-cynk-miedź	377
11.8.4. Stopy magnezu zawierające cyrkon	378
11.9. Stopy magnezu do obróbki plastycznej	383
11.9.1. Stopy przeznaczone do walcowania	385
11.9.2. Stopy do wyciskania	386
11.9.3. Stopy do kucia	387
11.10. Ochrona stopów magnezu przed korozją	387
Literatura źródłowa i uzupełniająca	388
12. Tytan i jego stopy KRZYSZTOF KUBIAK, MACIEJ MOTYKA	389
12.1. Wprowadzenie	389
12.2. Rudy oraz wytwarzanie tytanu i jego stopów	390
12.2.1. Rudy tytanu	390
12.2.2. Wytwarzanie gąbki tytanowej metodą Krolla i metodą FFC	390
12.3. Właściwości tytanu	391
12.4. Przemiana alotropowa $Ti-\alpha \leftrightarrow Ti-\beta$	392
12.5. Podział stopów tytanu	393
12.6. Charakterystyka faz w stopach tytanu	396
12.7. Kształtowanie mikrostruktury stopów tytanu w procesach obróbki plastycznej i cieplnej	399

12.7.1. Obróbka plastyczna	399
12.7.2. Obróbka cieplna	406
12.7.3. Obróbka cieplno-chemiczna i synteza wspomagana laserowo	409
12.8. Zastosowanie tytanu i jego stopów	410
Literatura źródłowa i uzupełniająca	413
13. Miedź i jej stopy ZBIGNIEW RDZAWSKI	416
13.1. Wstęp	416
13.2. Zarys technologii otrzymywania miedzi	417
13.3. Ogólna charakterystyka i właściwości miedzi	419
13.3.1. Podstawowe właściwości fizyczne miedzi	419
13.3.2. Właściwości chemiczne miedzi	420
13.3.3. Właściwości mechaniczne miedzi	420
13.3.4. Wpływ wybranych zanieczyszczeń na właściwości miedzi	421
13.4. Klasyfikacja miedzi i jej stopów wg norm	422
13.5. P odział stopów miedzi	424
13.6. Skład chemiczny wybranych gatunków miedzi	424
13.7. Mosiądze	425
13.8. Miedzionikle	426
13.9. Brązy	428
13.9.1. Brązy cynowe	428
13.9.2. Brązy aluminiowe	429
13.9.3. Brązy krzemowe	430
13.9.4. Brązy manganowe	431
13.9.4. Brązy tytanowe	432
13.10. Stopy miedzi trudno odkształcalne plastycznie	432
13.11. Miedź berylowa i brązy berylowe	435
13.12. Odlewnicze stopy miedzi	439
13.12.1. P odział stopów miedzi	439
13.12.2. Mosiądze odlewnicze	440
13.12.3. Brązy odlewnicze	441

13.13. Zarys technologii wytwarzania półwyrobów z miedzi i jej stopów	443
13.14. Właściwości i struktura taśm z miedzi gatunku M2R (CW024A) i M1E (CW004A)	444
13.15. Właściwości i struktura taśm z wybranych gatunków mosiądzów	446
Literatura źródłowa i uzupełniająca	449
14. Cynk, kadm, stopy cynku i stopy kadmu KRZYSZTOF PIEŁA	450
14.1. Charakterystyka cynku	450
14.1.1. Metalurgia cynku	450
14.1.2. Mechanizmy odkształcenia plastycznego cynku	456
14.1.3. Stopy cynku	458
14.1.4. Cynkowanie stali i żeliwa	475
14.2. Charakterystyka kadmu	479
14.2.1. Metalurgia kadmu	479
14.2.2. Zastosowanie kadmu	481
Literatura źródłowa i uzupełniająca	483
15. Ołów i cyna oraz ich stopy JAN WESOŁOWSKI	485
15.1. Ołów i jego stopy	485
15.1.1. Wprowadzenie	485
15.1.2. Zastosowanie ołowiu	489
15.1.3. Stopy ołowiu	490
15.1.4. Recykling ołowiu	492
15.2. Cyna i jej stopy	492
15.2.1. Wprowadzenie	492
15.2.2. Stopy cyny	493
15.2.3. Powłoki ochronne	494
Literatura źródłowa i uzupełniająca	496
16. Żelazo i jego stopy PIOTR BAŁA, KAROL PRZYBYŁOWICZ	497
16.1. Rys historyczny	497
16.2. Współczesne metody wytwarzania stopów żelaza	498
16.2.1. Wytwarzanie surówki	498
16.2.2. Konwertory tlenowe	498

	16.2.3. Piece elektryczne, łukowe	499
	16.2.4. Obróbka pozapiecowa	499
	16.2.5. Odgazowanie próżniowe	499
	16.3. Charakterystyka ogólna czystego żelaza i węgla	500
	16.3.1. Żelazo	500
	16.3.2. Węgiel	502
	16.4. Stopy żelaza z węglem	503
	16.4.1. Układ żelazo-węgiel	503
505	16.4.2. Fazy i składniki strukturalne układu żelazo-węgiel i ich właściwości	
	16.4.3. Podział stopów wg układu żelazo-węgiel	507
	16.4.4. Stale niestopowe	508
	16.4.5. Staliwa	511
	16.4.6. Żeliwa	512
	16.5. Obróbka cieplna stali	515
	16.5.1. Wyżarzanie	515
	16.5.2. Hartowanie	516
	16.5.3. Odpuszczanie	517
	16.5.4. Przesycanie i starzenie	518
	16.5.5. Obróbka cieplno-plastyczna	518
	16.6. Stale stopowe	518
	16.6.1. Klasyfikacja stali stopowych	520
skład chemiczny	16.6.2. Oznaczanie stali stopowych wg symboli głównych wskazujących na	520
	16.6.3. Stale konstrukcyjne stopowe	521
	16.6.4. Stale narzędziowe	526
	16.6.5. Stale o szczególnych właściwościach fizycznych i chemicznych	528
	16.6.6. Staliwa stopowe	533
	16.7. Stopy o szczególnych właściwościach magnetycznych	534
	16.7.1. Materiały magnetycznie miękkie	534
	16.7.2. Materiały magnetycznie twarde	535

16.8. Stopy o założonej rozszerzalności cieplnej i właściwościach sprężystych	535
Literatura źródłowa i uzupełniająca	535
17. Kobalt i nikiel oraz ich stopy JANUSZ KONSTANTY	537
17.1. Wprowadzenie	537
17.2. Czyste kobalt i nikiel	538
17.3. Metalurgiczne zastosowanie kobaltu i niklu	539
17.3.1. Nadstopy	539
17.3.2. Narzędziowe materiały metaliczno-diaamentowe	542
17.3.3. Węglik spiekane	543
17.3.4. Materiały o szczególnych właściwościach magnetycznych	545
17.3.5. Stopy o określonym współczynniku rozszerzalności cieplnej	548
17.3.6. Stopy oporowe	549
Literatura źródłowa i uzupełniająca	550
18. Chromowce: chrom, molibden i wolfram ANDRZEJ ROMAŃSKI, HANNA FRYDRYCH	551
18.1. Chrom, molibden i wolfram – charakterystyka ogólna	551
18.2. Chrom – informacje podstawowe	553
18.2.1. Chrom w stopach żelaza	555
18.2.2. Chrom jako czysty metal	558
18.2.3. Chrom w stopach oporowych	560
18.2.4. Chrom w przemyśle chemicznym	560
18.2.5. Chrom w materiałach ogniotrwałych	561
18.2.6. Chrom w masach formierskich	562
18.2.7. Inne zastosowania chromu	562
18.3. Molibden – informacje podstawowe	562
18.3.1. Zastosowanie molibdenu	564
18.3.2. Molibden w stopach żelaza	565
18.3.3. Stopy molibdenu	568
18.3.4. Molibden w superstopach i stopach na bazie niklu, tytanu oraz kobaltu	569
18.3.5. Zastosowanie związków chemicznych molibdenu	570

18.3.6. Molibden jako środek poślizgowy	570
18.4. Wolfram – informacje podstawowe	571
18.4.1. Obszary zastosowania wolframu	575
Literatura źródłowa i uzupełniająca	577
19. Manganowce – mangan, technet i ren TADEUSZ PIECZONKA	578
19.1. Wprowadzenie	578
19.2. Mangan	578
19.2.1. Właściwości	578
19.2.2. Surowce do produkcji manganu	580
19.2.3. Produkcja manganu	581
19.2.4. Zastosowanie manganu	582
19.3. Technet	584
19.3.1. Właściwości	584
19.3.2. Występowanie technetu w środowisku	585
19.3.3. Produkcja technetu ^{99m}Tc	586
19.3.4. Zastosowanie technetu	587
19.4. Ren	588
19.4.1. Właściwości	588
19.4.2. Surowce do produkcji renu	590
19.4.3. Produkcja renu	591
19.4.4. Zastosowanie renu	593
Literatura źródłowa i uzupełniająca	594
20. Tytanowce i wanadowce oraz ich stopy STANISŁAW JAN SKRZYPEK, KAZIMIERZ BOLANOWSKI	597
20.1. Wprowadzenie	597
20.2. Cyrkon i stopy cyrkonu	598
20.2.1. Metalurgia cyrkonu	598
20.2.2. Właściwości fizykochemiczne i mechaniczne cyrkonu	599
20.2.3. Stopy cyrkonu – właściwości mechaniczne i zastosowanie	601
20.3. Hafn	604
20.4. Wanad i stopy wanadu	607

20.4.1. Minerale i otrzymywanie wanadu	607
20.4.2. Wlasciwosci fizykochemiczne wanadu	607
20.4.3. Zastosowanie wanadu i jego stopow	608
20.5. Niob i stopy niobu	612
20.5.1. Podstawowe wlasciwosci fizykochemiczne niobu	612
20.5.2. Produkcja i zastosowanie niobu oraz stopow niobu	613
20.6. Tantal i jego stopy	618
20.6.1. Minerale i otrzymywanie tantalu	618
20.6.2. Wlasciwosci fizykochemiczne tantalu	618
20.6.2. Zastosowania tantalu	619
Literatura zrodlowa i uzupealnijaca	620
21. Metale szlachetne ZBIGNIEW RDZAWSKI	622
21.1. Wstep	622
21.2. Podstawowe wlasciwosci metali szlachetnych	625
21.3. Platyna	625
21.4. Pallad	628
21.5. Iryd	629
21.6. Rod	630
21.7. Osm	633
21.8. Zloto	634
21.9. Srebro	638
21.10. Metale szlachetne do zastosowan w jubilerstwie	641
Literatura zrodlowa i uzupealnijaca	645
22. Metale rzadkie – As, Ba, Be, Bi, Cs, Ga, Ge, Hg, In, Li, Po, Rb, Sb, Se, Sr, Te, Tl TADEUSZ PIECZONKA	647
22.1. Podstawowe pojecia	647
22.1.1. Co to sa metale rzadkie?	647
22.1.2. Klasyfikacja metali rzadkich	648
22.2. Metale rzadkie z grupy litowcow – lit, rubid i cez	652
22.2.1. Lit	653
22.2.2. Rubid	656

22.2.3. Cez	659
22.3. Metale rzadkie z grupy berylowców – beryl, stront i bar	662
22.3.1. Beryl	664
22.3.2. Stront	668
22.3.3. Bar	671
22.4. Metale rzadkie z grupy glinowców – gal, ind i tal	676
22.4.1. Gal	676
22.4.2. Ind	682
22.4.3. Tal	688
22.5. Metal rzadki z grupy węglowców – german	694
22.6. Metale rzadkie z grupy azotowców – arsen, antymon i bizmut	698
22.6.1. Arsen	699
22.6.2. Antymon	704
22.6.3. Bizmut	709
22.7. Metale rzadkie z grupy tlenowców – selen, tellur i polon	714
22.7.1. Selen	715
22.7.2. Tellur	721
22.7.3. Polon	724
22.8. Metal rzadki z grupy cynkowców – rtęć	727
Literatura źródłowa i uzupełniająca	734
23. Metale ziem rzadkich – Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu	TADEUSZ PIECZONKA 743
23.1. Wprowadzenie – właściwości metali ziem rzadkich	743
23.2. Surowce do produkcji metali ziem rzadkich	746
23.3. Produkcja metali ziem rzadkich	750
23.3.1. Przerób rud fluorowęglanowych	751
23.3.2. Przerób rud fosforanowych	753
23.4. Zastosowanie metali ziem rzadkich	755
Literatura źródłowa i uzupełniająca	765
24. Stopy funkcjonalne i specjalne	TANISŁAW JAN SKRZYPEK, KAROL PRZYBYŁOWICZ 768

24.1. Wprowadzenie	768
24.2. Stopy z pamięcią kształtu	769
24.3. Stopy nadplastyczne	774
24.4. Stopy amorficzne	776
24.4.1. Metody amorfizacji	776
24.4.2. Właściwości szkieł metalicznych	776
24.4.3. Materiały nanokrystaliczne – nanomateriały	779
24.5. Metale i stopy nadprzewodzące	781
24.6. Materiały piezoelektryczne	782
24.7. Pianki metalowe i gazary	783
Literatura źródłowa i uzupełniająca	785
25. Biopierwiastki i biomateriały ZOFIA KALICKA, STANISŁAW JAN SKRZYPEK	787
25.1. Biochemiczna rola metali	787
25.2. Zawartość metali w organizmie ludzkim	788
25.2.1. Podział na makro- i mikropierwiastki	788
25.2.2. Metale niezbędne	789
25.2.3. Biodostępność metali	790
25.3. Metale niezbędne w organizmie ludzkim	791
25.3.1. Funkcje i formy występowania metali	791
25.3.2. Biochemiczna rola poszczególnych metali	793
25.3.3. Wpływ dawki metalu niezbędnego na zdrowie	796
25.3.4. Jak organizm utrzymuje optymalne stężenie metali	796
25.4. Toksyczność metali	797
25.4.1. Działanie toksyczne metali w organizmie człowieka	797
25.4.2. Funkcje obronne organizmu wobec metali toksycznych	799
25.4.3. Zależność reakcji organizmu od dawki	799
25.4.4. Działanie toksyczne wybranych metali	800
25.4.5. Alergia kontaktowa na metale	805
25.4.6. Metale o działaniu bakteriobójczym	805
25.5. Metale w diagnostyce i terapii medycznej	806

25.5.1. Diagnostyka	806
25.5.2. Terapia antynowotworowa	808
25.5.3. Inne terapie lekowe zawierające metale	809
25.6. Kompleksy metali i związki metaloorganiczne	809
25.6.1. Kompleksy chelatowe	809
25.6.2. Związki metaloorganiczne	811
25.7. Biostopy i biomateriały w inżynierii biomedycznej	811
25.7.1. Biomateriały metaliczne	812
25.7.2. Biostopy tytanu	814
25.7.3. Biostopy kobaltu	815
25.7.4. Biostale	816
25.7.5. Biostopy na bazie metali szlachetnych	818
Literatura źródłowa i uzupełniająca	820