

Spis treści

Znaczenie materiałów metalicznych w historycznych epokach rozwoju i we współczesnej technice i technologii	XIX
STANISŁAW JAN SKRZYPEK, KAROL PRZYBYŁOWICZ	
Literatura źródłowa i uzupełniająca	XXXIII
Przedmowa do wydania drugiego, zmienionego	XXXV
STANISŁAW J. SKRZYPEK, KAROL PRZYBYŁOWICZ	
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	1
KAROL PRZYBYŁOWICZ, RAFAŁ DZIURKA	
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	26
KAROL PRZYBYŁOWICZ, JAN TUREK	
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 ciągłe	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	46
STANISŁAW JAN SKRZYPEK, MARCIN GOŁY	
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 $\{uvw\}$	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 (d_{hkl})	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	86
	WŁODZIMIERZ BOCHNIAK, KAROL PRZYBYŁOWICZ	
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.	Rekrystalizacja	136
4.5.3.	Rozrost ziarna	139
4.5.4.	Starzenie po zgnioście	140
4.5.5.	Praktyczne znaczenie rekrystalizacji	141
4.5.6.	Utwardzanie wydzieleniowe	142
	Literatura źródłowa i uzupełniająca	143
5.	Przetwórstwo metali i stopów	146
	STANISŁAW TURCZYN, ANDRZEJ NOWAKOWSKI	
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.	Ciągnięcie	159
5.2.4.	Kucie	163
5.2.5.	Tłoczenie	166
5.2.6.	Formowanie hydromechaniczne (<i>hydroforming</i>)	167
5.2.	Obróbka ciepno-plastyczna	168
5.3.1.	Obróbka ciepno-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.	Odewnictwo metali i stopów	174
	ZBIGNIEW BONDEREK, STANISŁAW RZADKOSZ	
6.1.	Wprowadzenie	174
6.2.	Ogólna charakterystyka metod wytwarzania odlewów	176
6.2.1.	Odewanie metali i stopów w formach piaskowych	176
6.2.2.	Odewanie grawitacyjne w formach metalowych	179
6.2.3.	Metody odlewania odśrodkowego	180
6.2.4.	Odewanie pod niskim ciśnieniem	182
6.2.5.	Odewnictwo 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.	Odewnictwo 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 odlewania stopów cynku	211
	Literatura źródłowa i uzupełniająca	213
7.	Metalurgia proszków i spieki metali	215
	HANNA FRYDRYCH, ANDRZEJ CIAŚ	
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, stале 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

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 ciepłno-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 ciepłno-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

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 ulepszeniu 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 martensytycznych 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	313
	MARIAN BRONICKI, ANTONI WOŹNICKI	
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	357
	ANDRZEJ DZIADOŃ	
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 PN-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	389
KRZYSZTOF KUBIAK, MACIEJ MOTYKA	
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- α \leftrightarrow Ti- β	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 wspomaganą laserowo	409
12.8. Zastosowanie tytanu i jego stopów	410
Literatura źródłowa i uzupełniająca	413
13. Miedź i jej stopy	416
ZBIGNIEW RDZAWSKI	
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. Podział 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. Podział 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	450
KRZYSZTOF PIEŁA	
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	485
JAN WESOŁOWSKI	
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	497
PIOTR BAŁA, KAROL PRZYBYŁOWICZ	
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. Piec elektryczny, łukowy	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
16.4.2. Fazy i składniki strukturalne układu żelazo-węgiel i ich właściwości	505
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
16.6.2. Oznaczanie stali stopowych wg symboli głównych wskazujących na skład chemiczny	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 537

JANUSZ KONSTANTY

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 odporowe	549
Literatura źródłowa i uzupełniająca	550

18. Chromowce: chrom, molibden i wolfram	551
ANDRZEJ ROMAŃSKI, HANNA FRYDRYCH	
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	578
TADEUSZ PIECZONKA	
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	597
STANISŁAW JAN SKRZYPEK, KAZIMIERZ BOLANOWSKI	
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.	Minerały i otrzymywanie wanadu	607
20.4.2.	Właściwości fizykochemiczne wanadu	607
20.4.3.	Zastosowanie wanadu i jego stopów	608
20.5.	Niob i stopy niobu	612
20.5.1.	Podstawowe właściwości fizykochemiczne niobu	612
20.5.2.	Produkcja i zastosowanie niobu oraz stopów niobu	613
20.6.	Tantal i jego stopy	618
20.6.1.	Minerały i otrzymywanie tantalu	618
20.6.2.	Właściwości fizykochemiczne tantalu	618
20.6.2.	Zastosowania tantalu	619
	Literatura źródłowa i uzupełniająca	620
21.	Metale szlachetne	622
	ZBIGNIEW RDZAWSKI	
21.1.	Wstęp	622
21.2.	Podstawowe właściwości metali szlachetnych	625
21.3.	Płatyna	625
21.4.	Pallad	628
21.5.	Iryd	629
21.6.	Rod	630
21.7.	Osm	633
21.8.	Złoto	634
21.9.	Srebro	638
21.10.	Metale szlachetne do zastosowań w jubilerstwie	641
	Literatura źródłowa i uzupełniająca	645
22.	Metale rzadkie – As, Ba, Be, Bi, Cs, Ga, Ge, Hg, In, Li, Po, Rb, Sb, Se, Sr, Te, Tl ...	647
	TADEUSZ PIECZONKA	
22.1.	Podstawowe pojęcia	647
22.1.1.	Co to są metale rzadkie?	647
22.1.2.	Klasyfikacja metali rzadkich	648
22.2.	Metale rzadkie z grupy litowców – 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	743
TADEUSZ PIECZONKA	
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	768
STANISŁAW JAN SKRZYPEK, KAROL PRZYBYŁOWICZ	
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	787
ZOFIA KALICKA, STANISŁAW JAN SKRZYPEK	
25.1. Biochemiczna rola metali	787

25.2.	Zawartość metali w organizmie ludzkim	788
25.2.1.	Podział na makro- i mikro pierwiastki	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