

# Spis treści

<b>Znaczenie materiałów metalicznych w historycznych epokach rozwoju i we współczesnej technice i technologii</b> .....	XIX
STANISŁAW JAN SKRZYPEK, KAROL PRZYBYŁOWICZ	
Literatura źródłowa i uzupełniająca .....	XXXIII
<b>Przedmowa do wydania drugiego, zmienionego</b> .....	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
<b>1. Fizyczne podstawy metaloznawstwa</b> .....	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
<b>2.</b>	<b>Krzepnięcie metali i stopów</b>	<b>26</b>
	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.	Odewanie 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
<b>3.</b>	<b>Krystaliczny stan materii – elementy krystalografii stosowanej</b>	<b>46</b>
	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 $\langle uvw \rangle$	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 ( $d_{hkl}$ )	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
<b>4.</b>	<b>Defekty sieci krystalicznej i ich rola . . . . .</b>	<b>86</b>
	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.	Rekryształizacja . . . . .	136
4.5.3.	Rozrost ziarna . . . . .	139
4.5.4.	Starzenie po zgnieciu . . . . .	140
4.5.5.	Praktyczne znaczenie rekryształizacji . . . . .	141
4.5.6.	Utwardzanie wydzieleniowe . . . . .	142
	Literatura źródłowa i uzupełniająca . . . . .	143
<b>5.</b>	<b>Przetwórstwo metali i stopów . . . . .</b>	<b>146</b>
	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 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
<b>6.</b>	<b>Odewnictwo metali i stopów</b>	<b>174</b>
	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 mosiądźców	210
6.10.	Technologia odlewania stopów cynku	211
	Literatura źródłowa i uzupełniająca	213
<b>7.</b>	<b>Metalurgia proszków i spieki metali</b>	<b>215</b>
	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 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. Naporowanie 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
<b>9. Inżynieria spajania metali</b>	<b>290</b>
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 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
<b>10.</b>	<b>Aluminium i jego stopy .....</b>	<b>313</b>
	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
<b>11.</b>	<b>Magnez i jego stopy .....</b>	<b>357</b>
	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
<b>12. Tytan i jego stopy</b>	<b>389</b>
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- $\alpha$ $\leftrightarrow$ 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 wspomaganą laserowo	409
12.8. Zastosowanie tytanu i jego stopów	410
Literatura źródłowa i uzupełniająca	413
<b>13. Miedź i jej stopy</b>	<b>416</b>
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. Mosiądże	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 mosiądźców .....	446
Literatura źródłowa i uzupełniająca .....	449
<b>14. Cynk, kadm, stopy cynku i stopy kadmu .....</b>	<b>450</b>
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
<b>15. Ołów i cyna oraz ich stopy .....</b>	<b>485</b>
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
<b>16. Żelazo i jego stopy .....</b>	<b>497</b>
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. 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
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 .....

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. Węgliki 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

<b>18. Chromowce: chrom, molibden i wolfram</b> .....	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
<b>19. Manganowce – mangan, technet i ren</b> .....	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 <sup>99m</sup> 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
<b>20. Tytanowce i wanadowce oraz ich stopy</b> .....	597
STANISŁAW JAN SKRZYPEK, KAZIMIERZ BOŁANOWSKI	
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
<b>21.</b>	<b>Metale szlachetne .....</b>	<b>622</b>
	ZBIGNIEW RDZAWSKI	
21.1.	Wstęp .....	622
21.2.	Podstawowe właściwości 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.	Złoto .....	634
21.9.	Srebro .....	638
21.10.	Metale szlachetne do zastosowań w jubilerstwie .....	641
	Literatura źródłowa i uzupełniająca .....	645
<b>22.</b>	<b>Metale rzadkie – As, Ba, Be, Bi, Cs, Ga, Ge, Hg, In, Li, Po, Rb, Sb, Se, Sr, Te, Tl ... ..</b>	<b>647</b>
	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

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