

---

---

## Spis treści

### Wstęp

#### Od epoki brązu do inżynierii materiałowej

<i>Adolf Maciejny</i> .....	17
-----------------------------	----

### Przedmowa

Znaczenie metali w rozwoju cywilizacji .....	31
----------------------------------------------	----

### Rozdział 1

#### Budowa atomowa metali

<i>Karol Przybyłowicz</i> .....	37
---------------------------------	----

1.1. Modele atomowe .....	37
---------------------------	----

1.2. Klasyfikacja metali .....	40
--------------------------------	----

1.3. Wielkość atomu .....	40
---------------------------	----

### Rozdział 2

#### Krzepnięcie metali

<i>Karol Przybyłowicz</i> .....	43
---------------------------------	----

2.1. Pojęcia ogólne .....	43
---------------------------	----

2.2. Mechanizm krystalizacji .....	44
------------------------------------	----

2.2.1. Prawo Tammanna .....	44
-----------------------------	----

2.2.2. Zarodkowanie fazy stałej .....	45
---------------------------------------	----

2.2.3. Wzrost zarodków fazy stałej .....	48
------------------------------------------	----

2.3. Krystalizacja stopów .....	51
---------------------------------	----

2.4. Nierównowagowe krzepnięcie .....	53
---------------------------------------	----

2.5. Krystalizacja i struktura wlewka .....	54
---------------------------------------------	----

2.6. Odlewanie ciągle .....	56
-----------------------------	----

2.7. Amorfizacja stopów metali .....	57
--------------------------------------	----

### Rozdział 3

#### Krystaliczna budowa metali

<i>Stanisław Jan Skrzypek</i> .....	59
-------------------------------------	----

3.1. Materiały krystaliczne .....	59
-----------------------------------	----

3.2. Stan krystaliczny, sieci przestrzenne i symetria .....	59
-------------------------------------------------------------	----

3.2.1. Rodzaje sieci i układy krystalograficzne.....	61
3.2.2. Wskaźnikowanie kierunków krystalograficznych – wskaźniki $\langle uvw \rangle$ .....	65
3.2.3. Wskaźnikowanie płaszczyzn krystalograficznych – wskaźniki $\{hkl\}$ .....	66
3.2.5. Elementy symetrii i przekształcenia symetryczne.....	69
3.2.6. Parametry komórki elementarnej sieci i odległości między płaszczyznami krystalograficznymi .....	74
3.3. Praktyczne znaczenie krystalografii.....	75
3.3.1. Pas krystalograficzny .....	75
3.3.2. Gęstość teoretyczna.....	77
3.3.3. Krystalograficzny model przemian fazowych i martenzytycznych.....	78
3.3.4. Dyfrakcja promieniowania X na sieci krystalicznej – prawo Bragga .....	79

## Rozdział 4

### Defekty sieci krystalicznej i ich rola

<i>Włodzimierz Bochniak</i> .....	83
4.1. Defekty sieci krystalicznej .....	83
4.1.1. Rzeczywista budowa materiałów metalicznych .....	83
4.1.2. Defekty budowy sieci krystalicznej.....	85
4.2. Rola defektów sieci krystalicznej w odkształceniu plastycznym.....	98
4.2.1. Poślizg dyslokacji i jego uwarunkowania .....	98
4.2.2. Umocnienie odkształceniowe.....	104
4.2.3. Zmiana drogi odkształcenia.....	106
4.2.4. Zlokalizowane plastyczne płynięcie.....	110
4.2.5. Sterowanie procesami obróbki plastycznej.....	113
4.2.6. Lepko-plastyczne płynięcie.....	117
<i>Karol Przybyłowicz</i>	
4.3. Rola defektów sieci w dyfuzji .....	121
4.3.1. Istota dyfuzji .....	121
4.3.2. Czynniki wpływające na dyfuzję.....	122
4.3.3. Mechanizmy dyfuzji .....	124

## Rozdział 5

### Przetwórstwo metali i stopów

<i>Andrzej Nowakowski</i> .....	129
5.1. Klasyfikacja metod przetwarzania .....	129
5.1.1. Plastyczność.....	129
5.1.2. Obróbka plastyczna na gorąco i na zimno .....	131
5.2. Metody obróbki plastycznej.....	132
5.2.1. Walcowanie .....	132

5.2.2. Wyciskanie .....	140
5.2.3. Ciągnięcie .....	143
5.2.4. Kucie .....	147
5.2.5. Tłoczenie .....	150
5.2.6. Formowanie hydromechaniczne (hydroforming) .....	151
5.3. Obróbka ciepłno-plastyczna .....	153
5.3.1. Obróbka ciepłno-plastyczna stali (OCP) .....	154
5.3.2. OCP stopów metali nieżelaznych .....	156

## **Rozdział 6**

### **Odlewnictwo metali i stopów**

<i>Stanisław Rzadkosz, Zbigniew Bonderek</i> .....	159
6.1. Wprowadzenie .....	159
6.2. Ogólna charakterystyka metod wytwarzania odlewów .....	160
6.2.1. Odlewanie metali i stopów w formach piaskowych .....	160
6.2.2. Odlewanie grawitacyjne w formach metalowych .....	163
6.2.3. Metody odlewania odśrodkowego .....	164
6.2.4. Odlewanie pod niskim ciśnieniem .....	166
6.2.5. Odlewanie ciśnieniowe .....	168
6.2.6. Inne metody odlewania precyzyjnego .....	172
6.3. Zanieczyszczenia gazowe i niemetaliczne w stopach .....	174
6.3.1. Metody rafinacji metali i stopów .....	178
6.4. Technologia odlewania stopów aluminium .....	180
6.5. Odlewnictwo miedzi i jej stopów .....	185
6.6. Technologia odlewania brązów cynowych .....	187
6.7. Technologia odlewania brązów aluminiowych .....	189
6.8. Technologia odlewania brązów krzemowych .....	190
6.9. Technologia odlewania mosiądzów .....	191
6.10. Technologia odlewania stopów cynku .....	192
6.11. Technologia odlewania stopów magnezu .....	193
6.12. Technologia odlewania staliwa i żeliwa .....	195

## **Rozdział 7**

### **Spieki metali**

<i>Hanna Frydrych, Andrzej Cias</i> .....	199
7.1. Wprowadzenie .....	199
7.2. Metody wytwarzania proszków .....	201
7.3. Prasowanie .....	203
7.4. Spiekanie .....	205
7.5. Spieki .....	209
7.5.1. Stale spiekane i spieki stalowe .....	209

7.5.2. Proszki żelaza i stali.....	211
7.5.3. Spiekane części maszyn .....	212
7.5.4. Technologia spiekania.....	216
7.5.5. Spiekane stale stopowe.....	218
7.5.6. Spiekane aluminium.....	219
7.5.7. Brązy spiekane .....	220
7.5.8. Spiekane łożyska ślizgowe .....	223
7.5.9. Filtry .....	224
7.5.10. Materiały cierne .....	225
7.5.11. Styki elektryczne.....	227

## Rozdział 8

### Aluminium i jego stopy

<i>Marian Bronicki, Antoni Woźnicki</i> .....	231
8.1. Wprowadzenie – produkcja i zużycie aluminium i jego stopów .....	231
8.2. Otrzymywanie aluminium.....	232
8.2.1. Aluminium pierwotne .....	232
8.2.2. Aluminium wtórne .....	234
8.3. Systemy oznaczeń aluminium i jego stopów .....	234
8.3.1. Oznaczenia stopów aluminium przeznaczonych do obróbki plastycznej.....	235
8.3.2. Oznaczenia gąsek przeznaczonych do przetopienia, na odlewy i na stopy wstępne.....	236
8.4. Obróbka cieplna wlewków z aluminium i jego stopów .....	237
8.5. Kształtowanie własności aluminium serii 1xxx.....	240
8.6. Stopy aluminium i ich obróbka cieplna .....	243
8.6.1. Stopy umacniane roztworowo – serie 3xxx i 5xxx .....	243
8.6.2. Stopy utwardzane wydzieleniowo – serie 2xxx, 6xxx i 7xxx .....	246

## Rozdział 9

### Magnez i jego stopy

<i>Andrzej Dziadoń</i> .....	257
9.1. Wprowadzenie .....	257
9.2. Metalurgia magnezu .....	258
9.3. Własności magnezu .....	259
9.3.1. Struktura i mechanizm odkształcenia .....	259
9.3.2. Własności fizyczne .....	260
9.3.3. Własności mechaniczne .....	261
9.3.4. Własności chemiczne magnezu .....	262
9.4. Skład chemiczny magnezu niestopowego wg PN-EN 12421 : 2001 .....	262
9.5. Otrzymywanie stopów magnezu .....	263

9.6. Pierwiastki występujące w stopach magnezu .....	264
9.6.1. Pierwiastki stopowe w stopach magnezu.....	265
9.6.2. Domieszki metalurgiczne.....	266
9.7. Obróbka cieplna stopów magnezu.....	268
9.8. Odlewnicze stopy magnezu.....	271
9.8.1. Uwagi ogólne o odlewaniu stopów magnezu.....	271
9.8.2. Stopy magnezu z aluminium.....	273
9.8.3. Stopy magnez-cynk-miedź.....	277
9.8.4. Stopy magnezu zawierające cyrkon.....	277
9.8.4.1. Stopy magnezu z cynkiem i cyrkonem.....	278
9.8.4.2. Stopy magnezu z metalami ziem rzadkich, cynkiem i cyrkonem .....	278
9.8.4.3. Stopy magnezu z metalami ziem rzadkich, srebrem i cyrkonem .....	279
9.8.4.4. Stopy magnezu z metalami ziem rzadkich, itrem i cyrkonem.....	279
9.9. Stopy magnezu do obróbki plastycznej .....	283
9.9.1. Stopy magnezu przeznaczone do walcowania .....	283
9.9.2. Stopy do wyciskania.....	285
9.9.3. Stopy do kucia.....	285
9.10. Ochrona stopów magnezu przed korozją.....	287

## Rozdział 10

### Tytan i jego stopy

<i>Krzysztof Kubiak</i> .....	289
10.1. Wprowadzenie .....	289
10.2. Rudy tytanu oraz wytwarzanie tytanu i jego stopów .....	289
10.2.1. Wytwarzanie gąbki tytanowej metodą Krolla i metodą FFC .....	290
10.3. Własności tytanu.....	291
10.4. Przemiana alotropowa $Ti\alpha \rightleftharpoons Ti\beta$ .....	292
10.5. Podział stopów tytanu .....	293
10.6. Charakterystyka faz w stopach tytanu .....	297
10.7. Kształtowanie mikrostruktury stopów tytanu w procesach obróbki plastycznej i cieplnej .....	299
10.7.1. Obróbka plastyczna .....	299
10.7.2. Obróbka cieplna.....	307
10.7.3. Obróbka cieplno-chemiczna i stopowanie laserowe.....	310
10.8. Zastosowanie tytanu i jego stopów .....	310

## Rozdział 11

### Miedź i jej stopy

<i>Zbigniew Rdzawski</i> .....	317
11.1. Wstęp.....	317
11.2. Zarys technologii otrzymywania miedzi .....	318

---

---

11.3. Ogólna charakterystyka i własności miedzi.....	319
11.3.1. Własności chemiczne miedzi .....	320
11.3.2. Własności mechaniczne miedzi.....	321
11.3.3. Wpływ wybranych zanieczyszczeń na własności miedzi.....	321
11.4. Klasyfikacja miedzi i jej stopów według norm .....	322
11.5. Podział stopów miedzi .....	324
11.6. Skład chemiczny wybranych gatunków miedzi.....	324
11.7. Mosiądze .....	325
11.8. Miedzionikle.....	327
11.9. Brązy .....	328
11.10. Stopy miedzi trudno odkształcalne plastycznie .....	332
11.11. Miedź berylowa i brązy berylowe .....	335
11.12. Odlewnicze stopy miedzi .....	339
11.13. Zarys technologii wytwarzania półwyrobów z miedzi i jej stopów .....	343
11.14. Własności i struktura taśm z miedzi w gatunku M2R (CW024A) i M1E (CW004A).....	344
11.15. Własności i struktura taśm z wybranych gatunków mosiądzów .....	346

## **Rozdział 12**

### **Cynk i kadm oraz ich stopy**

<i>Krzysztof Piela</i> .....	351
12.1. Charakterystyka cynku .....	351
12.1.1. Metalurgia cynku .....	351
12.1.2. Mechanizmy odkształcenia plastycznego cynku .....	357
12.1.3. Stopy cynku .....	358
12.1.3.1. Odlewnicze stopy cynku .....	359
12.1.3.2. Stopy cynku do obróbki plastycznej.....	368
12.1.4. Cynkowanie stali i żeliwa .....	373
12.2. Charakterystyka kadmu .....	376
12.2.1. Metalurgia kadmu .....	377
12.2.2. Zastosowanie kadmu.....	378

## **Rozdział 13**

### **Cyna i ołów oraz ich stopy**

<i>Jan Wesolowski</i> .....	383
13.1. Ołów i jego stopy .....	383
13.1.1. Wprowadzenie .....	383
13.1.2. Zastosowanie ołowiu.....	386

13.1.3. Stopy ołowiu .....	387
13.1.4. Recykling ołowiu .....	389
13.2. Cyna i jej stopy .....	389
13.2.1. Wprowadzenie .....	389
13.2.2. Stopy cyny .....	390
13.2.3. Powłoki ochronne .....	391

## **Rozdział 14**

### **Żelazo i jego stopy**

<i>Piotr Bała, Karol Przybyłowicz</i> .....	395
14.1. Rys historyczny .....	395
14.2. Współczesne metody wytwarzania stopów żelaza .....	396
14.2.1. Wytwarzanie surówki .....	396
14.2.2. Konwertory tlenowe .....	397
14.2.3. Piece elektryczne łukowe .....	397
14.2.4. Obróbka pozapiecowa .....	397
14.2.5. Odgazowanie próżniowe .....	398
14.3. Charakterystyka ogólna czystego żelaza .....	398
14.4. Stopy żelaza z węglem .....	399
14.4.1. Układ żelazo-węgiel .....	400
14.4.2. Fazy i składniki strukturalne układu żelazo-węgiel i ich własności .....	402
14.4.3. Podział stopów według układu żelazo-węgiel .....	404
14.4.4. Stale niestopowe .....	405
14.4.5. Staliwa .....	406
14.4.6. Żeliwa .....	407
14.5. Obróbka cieplna stali .....	410
14.5.1. Wyżarzanie .....	411
14.5.2. Hartowanie .....	411
14.5.3. Odpuszczanie .....	412
14.5.4. Przesycanie i starzenie .....	413
14.5.5. Obróbka cieplno-plastyczna .....	413
14.6. Stale stopowe .....	413
14.6.1. Klasyfikacja stali stopowych .....	414
14.6.2. Oznaczanie stali stopowych według symboli głównych wskazujących na skład chemiczny .....	415
14.6.3. Stale konstrukcyjne stopowe .....	416
14.6.4. Stale narzędziowe .....	419

14.6.5. Stale o szczególnych własnościach fizycznych i chemicznych .....	421
14.6.6. Staliwa stopowe .....	426
14.7. Stopy o szczególnych własnościach magnetycznych .....	427
14.7.1. Materiały magnetycznie miękkie.....	427
14.7.2. Materiały magnetycznie twarde.....	428
14.8. Stopy o założonej rozszerzalności cieplnej i własnościach sprężystych .....	428

## **Rozdział 15**

### **Kobalt i nikiel oraz ich stopy**

<i>Janusz Konstanty</i> .....	431
15.1. Czysty kobalt i nikiel .....	432
15.2. Metalurgiczne zastosowanie kobaltu i niklu.....	433
15.2.1. Nadstopy .....	433
15.2.2. Narzędziowe materiały metaliczno-diamentowe.....	436
15.2.3. Węglik spiekane.....	437
15.2.4. Materiały o szczególnych własnościach magnetycznych .....	439
15.2.4.1. Materiały magnetycznie miękkie .....	439
15.2.4.2. Materiały magnetycznie twarde .....	440
15.2.5. Stopy o określonym współczynniku rozszerzalności cieplnej .....	442
15.2.6. Stopy oporowe .....	443

## **Rozdział 16**

### **Chromowce – Cr, Mo i W**

<i>Andrzej Romański, Hanna Frydrych</i> .....	445
16.1. Chrom, molibden i wolfram – charakterystyka ogólna .....	445
16.2. Chrom – informacje podstawowe.....	447
16.2.1. Chrom w stopach Fe .....	449
16.2.2. Chrom jako czysty metal .....	452
16.2.3. Chrom w stopach oporowych .....	454
16.2.4. Chrom w przemyśle chemicznym.....	455
16.2.5. Chrom w materiałach ogniotrwałych.....	455
16.2.6. Chrom w masach formierskich .....	456
16.2.7. Inne zastosowania chromu .....	456
16.3. Molibden – informacje podstawowe .....	456
16.3.1. Zastosowanie molibdenu.....	458
16.3.2. Molibden w stopach Fe.....	459
16.3.3. Stopy molibdenu .....	462



16.3.4. Molibden w superstopach i stopach Ni, Ti i Co .....	463
16.3.5. Zastosowanie związków chemicznych molibdenu .....	464
16.3.6. Molibden jako środek poślizgowy .....	464
16.4. Wolfram – informacje podstawowe .....	465
16.4.1. Obszary zastosowania wolframu .....	468

## Rozdział 17

### Manganowce – Mn, Tc i Re

<i>Tadeusz Pieczonka</i> .....	473
17.1. Mangan .....	474
17.1.1. Surowce do produkcji manganu .....	475
17.1.2. Produkcja manganu .....	475
17.1.3. Zastosowanie manganu .....	476
17.2. Technet .....	478
17.2.1. Surowce do produkcji technetu .....	478
17.2.2. Produkcja technetu .....	479
17.2.3. Zastosowanie technetu .....	480
17.3. Ren .....	480
17.3.1. Surowce do produkcji renu .....	481
17.3.2. Produkcja renu .....	482
17.3.3. Zastosowanie renu .....	483

## Rozdział 18

### Cyrkon, hafn, niob, wanad i tantal oraz ich stopy

<i>Stanisław Jan Skrzypek</i> .....	487
18.1. Cyrkon i jego stopy .....	488
18.1.1. Rudy oraz metalurgia cyrkonu .....	488
18.1.2. Właściwości fizykochemiczne cyrkonu .....	489
18.1.3. Właściwości mechaniczne i zastosowanie – stopy cyrkonu .....	490
18.2. Hafn .....	493
18.3. Wanad .....	494
18.3.1. Minerale i otrzymywanie wanadu .....	494
18.3.2. Właściwości fizykochemiczne wanadu .....	495
18.3.3. Zastosowanie wanadu i jego stopów .....	495
18.4. Niob i jego stopy .....	499
18.4.1. Podstawowe właściwości fizyczne i chemiczne niobu i jego stopów .....	499
18.5. Tantal i jego stopy .....	503

**Rozdział 19****Metale szlachetne – Pt, Pd, Ir, Rh, Os, Au i Ag**

<i>Zbigniew Rdzawski</i> .....	507
19.1. Wstęp.....	507
19.2. Podstawowe właściwości metali szlachetnych.....	510
19.3. Platyna.....	510
19.4. Pallad.....	513
19.5. Iryd.....	514
19.6. Rod.....	515
19.7. Osm.....	518
19.8. Złoto.....	519
19.9. Srebro.....	524
19.10. Metale szlachetne do zastosowań w jubilerstwie.....	526

**Rozdział 20****Pierwiastki rzadkie – As, Ba, Be, Bi, Cs, Ga, Ge, Hg, In, Li, Po, Rb, Sb, Se, Sr, Te i Tl**

<i>Tadeusz Pieczonka</i> .....	533
20.1. Podstawowe informacje.....	533
20.1.1. Co to są metale rzadkie?.....	533
20.1.2. Klasyfikacja metali rzadkich.....	534
20.2. Metale rzadkie z grupy litowców – lit, rubid i cez.....	538
20.2.1. Lit.....	539
20.2.2. Rubid.....	542
20.2.3. Cez.....	544
20.3. Metale rzadkie z grupy berylowców – beryl, stront i bar.....	549
20.3.1. Beryl.....	550
20.3.2. Stront.....	554
20.3.3. Bar.....	557
20.4. Metale rzadkie z grupy glinowców – gal, ind i tal.....	563
20.4.1. Gal.....	563
20.4.2. Ind.....	568
20.4.3. Tal.....	574
20.5. Pierwiastek rzadki z grupy węglowców – german.....	581
20.5.1. German.....	581
20.6. Metale rzadkie z grupy azotowców – arsen, antymon i bizmut.....	586
20.6.1. Arsen.....	587
20.6.2. Antymon.....	591
20.6.3. Bizmut.....	595

---

---

20.7. Metale rzadkie z grupy tlenowców – selen, tellur i polon.....	601
20.7.1. Selen .....	602
20.7.2. Tellur .....	607
20.7.3. Polon.....	610
20.8. Metal rzadki z grupy cynkowców – rtęć .....	615
20.8.1. Rtęć.....	615

## **Rozdział 21**

### **Metale ziem rzadkich – Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb i Lu**

<i>Tadeusz Pieczonka</i> .....	623
21.1. Surowce do produkcji metali ziem rzadkich .....	624
21.2. Produkcja metali ziem rzadkich .....	625
21.3. Zastosowanie metali ziem rzadkich.....	627

## **Rozdział 22**

### **Stopy funkcjonalne i specjalne**

<i>Stanisław Jan Skrzypek</i> .....	635
22.1. Stopy z pamięcią kształtu .....	636
22.2. Stopy nadplastyczne .....	641
22.3. Stopy amorficzne .....	643
22.3.1. Właściwości szkieł metalicznych.....	643
22.4. Materiały nanokrystaliczne – nanomateriały .....	646
22.5. Biostopy – biomateriały .....	648
22.5.1. Biomateriały metaliczne .....	649
22.5.2. Biostopy na bazie metali szlachetnych .....	651
22.6. Pianki metalowe i gazary.....	652