

Spis treści

Wstęp	7
1. Podstawowe wiadomości o właściwościach fizycznych metali i przygotowaniu stopów do celów odlewniczych	9
1.1. Fizyczne właściwości metali	9
1.1.1. Gęstość metali i stopów	11
1.1.2. Lepkość metali i stopów	12
1.1.3. Napięcie powierzchniowe i międzyfazowe (energia powierzchniowa i międzyfazowa) metali i stopów	16
1.1.4. Dyfuzja w metalach i stopach	18
1.1.5. Współczynnik oporności elektrycznej metali i stopów	19
1.1.6. Ciepło topnienia i pojemność cieplna	20
1.1.7. Przewodność cieplna	21
1.2. Zanieczyszczenia w metalach	22
1.2.1. Rodzaj i postać występowania zanieczyszczeń	22
1.2.2. Gazy w metalach i stopach	24
1.2.2.1. Rozpuszczalność wodoru	28
1.2.2.2. Rozpuszczalność tlenu	30
1.2.2.3. Rozpuszczalność azotu	30
1.2.2.4. Rozpuszczalność pary wodnej	31
1.2.2.5. Rozpuszczalność tlenku węgla	31
1.3. Materiały ogniotrwałe oraz reakcje na granicy ciekły metal (stop) – materiał ogniotrwały	32
1.4. Technologia prowadzenia wytopów	40
1.4.1. Ładowanie pieca oraz proces roztapiania metali i stopów	40
1.4.2. Proces topienia	43
1.4.3. Rafinacja i obróbka ciekłych metali i stopów	43
1.4.3.1. Rafinowanie metali i stopów	43
1.4.3.2. Modyfikacja	54
1.4.3.3. Korekta składu chemicznego i zawartości gazów	55
1.4.3.4. Obróbka pozapiecowa ciekłych stopów	55
Literatura do rozdziału 1	56
2. Zalewanie form oraz proces stygnięcia i krzepnięcia ciekłych metali w formie odlewniczej	57
2.1. Wypełnianie formy odlewniczej ciekłym metalem	57
2.2. Krystalizacja i krzepnięcie ciekłego metalu w formie odlewniczej	65
2.2.1. Warunki krystalizacji stopów podczas krzepnięcia	65
2.2.2. Krzepnięcie odlewów	75
2.3. Struktura odlewów i zjawisko segregacji w odlewach	85
2.4. Segregacja (likwacja) w stopach odlewniczych	91

2.5. Skurcz stopów oraz powstawanie naprężeń i jam skurczowych w odlewach	98
2.6. Wady pochodzenia gazowego w odlewach i przepływ gazów między ciekłym metalem a formą	109
2.7. Warstwa wierzchnia odlewów	114
Literatura do rozdziału 2	116
3. Procesy technologiczne wytwarzania odlewów	119
3.1. Oprzyrządowanie odlewnicze do odlewania do form piaskowych	121
3.1.1. Oprzyrządowanie odlewnicze	121
3.2. Materiały oraz masy formierskie i rdzeniowe	127
3.3. Wytwarzanie form i rdzeni	133
3.3.1. Formowanie ręczne	135
3.3.2. Formowanie maszynowe	138
3.3.3. Mechanizacja i automatyzacja produkcji odlewów w formach piaskowych	145
3.4. Specjalne metody odlewania	147
3.4.1. Specjalne metody odlewania do form jednorazowych	148
3.4.1.1. Odlewanie skorupowe	148
3.4.1.2. Odlewanie metodą wytapianych modeli (odlewanie precyzyjne)	153
3.4.1.3. Proces pełnej formy (<i>full mould process</i>)	159
3.4.1.4. Odlewanie metodą Shawa (<i>Shaw process</i>)	163
3.4.1.5. Odlewanie do form gipsowych	165
3.4.1.6. Formowanie próżniowe (metoda V)	168
3.4.1.7. Proces odlewania do form ceramicznych pod niskim ciśnieniem (proces Coswortha)	170
3.4.2. Odlewanie do form trwałych	170
3.4.2.1. Odlewanie kokilowe	170
3.4.2.2. Odlewanie ciśnieniowe	176
3.4.2.3. Odlewanie pod regulowanym ciśnieniem (odlewanie niskociśnieniowe, odlewanie z przeciwcisnieniem, odlewanie przez zasysanie próżniowe)	181
3.4.2.4. Odlewanie metodą <i>squeeze casting</i>	189
3.4.2.5. Odlewanie odśrodkowe	192
3.4.2.6. Odlewanie tiksotropowe	196
Literatura do rozdziału 3	197
4. Projektowanie procesu technologicznego wytwarzania odlewów i zasady ich konstrukcji	199
4.1. Ogólne zasady wyboru metody wytwarzania odlewu i zasady opracowania technologii jego wykonania	199
4.2. Układy wlewowe	213
4.2.1. Obliczanie układów wlewowych	214
4.2.1.1. Czas wypełnienia wnęki formy (czas zalewania)	214

4.2.1.2. Wyznaczenie prędkości podnoszenia się lustra ciekłego metalu w formie	217
4.2.1.3. Obliczanie sumarycznego najmniejszego przekroju elementów układu wlewowego	218
4.2.1.4. Obliczanie układów wlewowych dla odlewów zalewanych z kadzi zatyczkowych	223
4.3. Nadlewy i sterowanie procesem zasilania odlewów	226
4.3.1. Wyznaczanie objętości nadlewu	230
4.3.2. Miejsce przyłożenia nadlewu	236
4.3.3. Właściwości termofizyczne mas stosowanych do sporządzania otulin nadlewów	241
4.3.4. Czynniki wpływające na dobór wymiarów nadlewu	242
4.3.5. Rdzenie stosowane do odwzorowania połączenia odlewu z nadlewem (szyjki nadlewu)	243
4.4. Ochładzalniki	245
4.4.1. Ochładzalniki zwiększające zasięg efektu brzegowego	246
4.4.2. Ochładzalniki rozdzielające wpływ dwóch sąsiednich nadlewów	247
4.5. Zalewanie, chłodzenie i wybijanie odlewów z formy	248
4.6. Konstrukcja odlewów	249
4.6.1. Wybór procesu wytwarzania odlewu i konstrukcja oprzyrządowania niezbędnego do uruchomienia produkcji	250
4.6.2. Wybrane zagadnienia konstrukcji odlewów	251
Literatura do rozdziału 4	271
5. Stopy i piece odlewnicze oraz przygotowanie stopów do zalewania form	273
5.1. Piece odlewnicze	273
5.1.1. Piece metalurgiczne	273
5.2. Ogólne zasady przygotowania stopów odlewniczych do procesu zalewania form odlewniczych	280
5.3. Żeliwo – gatunki i sposób wytapiania	283
5.3.1. Żeliwo szare maszynowe – struktura i właściwości mechaniczne	283
5.3.2. Żeliwo sferoidalne	293
5.3.3. Żeliwo ciągliwe	299
5.3.4. Topienie żeliwa	301
5.4. Staliwo – gatunki, sposób wytapiania	314
5.4.1. Staliwo węglowe i stopowe	314
5.4.2. Wykonywanie odlewów staliwnych	326
5.4.3. Wytapianie staliwa węglowego	330
5.5. Stopy miedzi	334
5.5.1. Brązy cynowe	335
5.5.2. Brązy bezcynowe	336
5.5.3. Mosiądze	337
5.5.4. Topienie stopów miedzi	340
5.6. Stopy aluminium	342
5.6.1. Klasyfikacja stopów aluminium	342
5.6.2. Topienie i odlewanie stopów aluminium	344

5.6.3. Modyfikacja stopów aluminium	351
5.6.4. Zalewanie form odlewniczych	352
5.7. Stopy magnezu	353
5.7.1. Klasyfikacja stopów – struktura i właściwości	353
5.7.2. Topienie stopów magnezu i proces modyfikacji struktury	355
5.7.3. Zalewanie form	358
5.8. Stopy cynku	358
5.8.1. Klasyfikacja stopów cynku	358
5.8.2. Topienie stopów cynku	362
5.8.3. Wykonywanie odlewów ze stopów cynku	366
5.9. Stopy niklu	368
5.9.1. Klasyfikacja stopów, struktura i właściwości	368
5.9.2. Stopy o specjalnych właściwościach fizycznych	371
5.9.3. Topienie stopów niklu	371
5.10. Stopy kobaltu	372
5.10.1. Charakterystyka odlewniczych stopów kobaltu	372
5.10.2. Topienie stopów kobaltu	374
5.11. Stopy metali trudno topliwych	374
5.11.1. Stopy na osnowie tytanu	374
5.11.1.1. Charakterystyka stopów tytanu	375
5.11.1.2. Topienie stopów tytanu	375
5.11.2. Stopy na osnowie wanadu	376
5.11.3. Stopy na osnowie chromu	377
5.11.4. Stopy na osnowie niobu	377
Literatura do rozdziału 5	378
6. Nowoczesne techniki przyspieszające proces wytwarzania odlewów	379
6.1. Nowoczesne techniki przyspieszające projektowanie i wytwarzanie odlewów	379
6.2. Zastosowanie techniki <i>rapid prototyping</i> w odlewnictwie	382
6.2.1. Stereolitografia (SLA)	383
6.2.2. Metody <i>solid-based rapid prototyping systems</i>	385
6.2.2.1. <i>Fuse deposition modeling</i> (FDM)	385
6.2.2.2. <i>Laminated object manufacturing</i>	387
6.2.3. <i>Powder-based rapid prototyping systems</i>	388
6.2.3.1. <i>Selective laser sintering</i> (SLS)	388
6.2.3.2. Metoda drukowania modelu (<i>three dimensional printing</i> – 3DP)	390
6.2.3.3. <i>Direct shell production of casting</i> (DSPC)	397
Literatura do rozdziału 6	392
Aneks	393
Spis rysunków	395
Spis tablic	403