

Spis treści

Przedmowa / 11

1. Podstawy procesów odlewniczych / 13

- 1.1. Istota procesu odlewania / 13
 - 1.1.1. Opis procesu odlewania / 13
 - 1.1.2. Główne zagadnienia występujące w procesach odlewniczych / 14
 - 1.1.3. Przykłady realizacji procesu odlewniczego / 17
 - 1.1.3.1. Odlewanie do form piaskowych o poziomej płaszczyźnie podziału / 17
 - 1.1.3.2. Odlewanie kokilowe / 21
 - 1.2. Wypełnianie formy odlewniczej (zalewanie) / 23
 - 1.2.1. Zjawiska fizyczne występujące przy wypełnianiu form / 23
 - 1.2.2. Zasady projektowania układów wlewowych dla różnych stopów i rodzajów form / 26
 - 1.2.2.1. Główne elementy układu wlewowego / 26
 - 1.2.2.2. Określenie optymalnego czasu zalewania / 27
 - 1.2.2.3. Obliczenie minimalnego przekroju układu wlewowego / 28
 - 1.2.2.4. Podstawowe typy układów wlewowych / 30
 - 1.2.2.5. Geometria układów wlewowych do odlewania żeliwa w formach piaskowych o poziomej powierzchni podziału / 30
 - 1.2.2.6. Geometria układów wlewowych do odlewania stopów aluminium w kokilach / 37
 - 1.2.2.7. Geometria układów wlewowych do odlewania staliwa / 38
 - 1.2.2.8. Filtry w układzie wlewowym / 39
 - 1.3. Krzepnięcie odlewu / 40
 - 1.3.1. Makroskopowe zjawiska fizyczne występujące przy krzepnięciu odlewów / 40
 - 1.3.1.1. Odbieranie ciepła od odlewu przez formę / 40
 - 1.3.1.2. Skurcz odlewu / 43
 - 1.3.2. Krystalizacja stopów odlewniczych / 45
 - 1.3.2.1. Podstawowe pojęcia i prawa związane z krystalizacją / 45
 - 1.3.2.2. Zarodkowanie i wzrost kryształów metali i stopów / 48
 - 1.3.2.3. Krystalizacja eutektyk / 56
 - 1.3.2.4. Segregacja stopów / 63
 - 1.3.2.5. Podstawy analizy termicznej i derywacyjnej / 64
 - 1.3.3. Zasilanie odlewów / 67
 - 1.3.3.1. Morfologia krzepnięcia odlewów / 68
 - 1.3.3.2. Zasady zasilania odlewów ze stopów wykazujących skurcz w całym zakresie krzepnięcia / 71

- 1.3.3.3. Obliczenia elementów układu zasilającego dla odlewów ze stopów wykazujących skurcz w całym zakresie krzepnięcia / 75
- 1.3.3.4. Zjawiska związane z zasilaniem odlewów żeliwnych, w których węgiel występuje w postaci grafitu / 87
- 1.3.3.5. Metody zasilania odlewów żeliwnych, w których węgiel występuje w postaci grafitu / 90
- 1.3.3.6. Projektowanie zasilania odlewów żeliwnych z pełnym wykorzystaniem ciśnienia grafityzacji / 93
- 1.3.3.7. Projektowanie zasilania odlewów żeliwnych ze zredukowanym ciśnieniem / 95
- 1.4. Naprężenia w odlewach / 97
- 1.4.1. Własności mechaniczne stopów w zakresie temperatury stygnięcia odlewu / 98
- 1.4.2. Pęknięcia na gorąco / 100
- 1.4.3. Mechaniczne oddziaływania odlewu na formę metalową / 102
- 1.4.4. Naprężenia własne powstające w procesie wykonania odlewu / 104

2. Przegląd technologii odlewniczych / 106

- 2.1. Klasyfikacja procesów odlewniczych / 106
- 2.2. Istota najważniejszych procesów odlewniczych i ich odmiany / 108
- 2.2.1. Rodzaje form odlewniczych / 108
- 2.2.2. Rodzaje modeli odlewniczych / 111
- 2.2.3. Sposoby wypełniania form odlewniczych / 112
- 2.2.4. Zestawienie procesów wytwarzania odlewów / 115

3. Projektowanie odlewów / 116

- 3.1. Materiały na odlewy / 116
- 3.1.1. Podział stopów odlewniczych / 116
- 3.1.2. Układ równowagi fazowej Fe-C i odlewnicze stopy żelaza / 116
- 3.1.3. Żeliwo / 120
- 3.1.3.1. Żeliwo szare / 120
- 3.1.3.2. Żeliwo z grafitem sferoidalnym / 128
- 3.1.3.3. Żeliwo z grafitem zwartym / 131
- 3.1.3.4. Żeliwo białe i zabiłone / 133
- 3.1.3.5. Żeliwo ciągliwe / 134
- 3.1.3.6. Żeliwo stopowe / 137
- 3.1.4. Staliwo / 139
- 3.1.4.1. Staliwo węglowe konstrukcyjne / 140
- 3.1.4.2. Staliwo stopowe / 142
- 3.1.5. Stopy metali nieżelaznych / 144
- 3.1.5.1. Stopy aluminium / 144
- 3.1.5.2. Stopy magnezu / 150
- 3.1.5.3. Stopy tytanu / 152
- 3.1.5.4. Miedź i jej stopy / 154
- 3.1.5.5. Nikiel i jego stopy / 158
- 3.1.5.6. Kobalt i jego stopy / 160
- 3.1.5.7. Cynk i jego stopy / 161
- 3.2. Kształtowanie geometrii odlewu / 163
- 3.2.1. Pojęcie i ogólne zasady technologiczności konstrukcji odlewów / 163
- 3.2.2. Kształtowanie odlewów ze względu na proces technologiczny odlewania / 165
- 3.2.3. Zastosowanie systemów CAD do projektowania odlewów / 180

- 3.3. Parametry odlewów otrzymywanych przy zastosowaniu różnych technologii odlewniczych / 182
- 3.4. Wybór procesu odlewniczego w projektowaniu wyrobu / 190
- 3.4.1. Miejsce i znaczenie wyboru procesu technologicznego / 190
- 3.4.2. Przebieg i środki służące do wyboru procesu technologicznego / 193

4. Procesy wytapiania i obróbki pozapiecowej ciekłego metalu / 196

- 4.1. Podstawowe prawa fizykochemiczne dla ciekłych metali i procesy wytapiania / 196
- 4.1.1. Podstawowe pojęcia i prawa fizykochemiczne dla ciekłych metali i stopów / 196
- 4.1.2. Źródła i rodzaje zanieczyszczeń ciekłych metali i stopów oraz metody ich usuwania / 200
- 4.1.3. Wprowadzanie dodatków stopowych / 203
- 4.1.4. Uszlachetnianie ciekłego stopu / 204
- 4.1.5. Klasyfikacja procesów topienia / 205
- 4.2. Piece do topienia i urządzenia do obróbki ciekłych stopów / 206
- 4.2.1. Technologiczne podstawy klasyfikacji pieców do topienia / 206
- 4.2.2. Piece odlewnicze / 213
- 4.2.2.1. Żeliwiaki / 213
- 4.2.2.2. Piece na paliwo ciekłe i gazowe / 222
- 4.2.2.3. Piece elektryczne / 225
- 4.2.3. Systemy pieców / 233
- 4.2.4. Piece i procesy specjalne / 235
- 4.2.5. Urządzenia do obróbki ciekłych stopów / 237
- 4.2.5.1. Urządzenia do rafinacji / 237
- 4.2.5.2. Urządzenia do modyfikacji / 239
- 4.2.5.3. Urządzenia do sferoidyzacji / 240
- 4.2.6. Metody kontroli ciekłych stopów / 243

5. Przygotowanie form odlewniczych jednorazowych / 251

- 5.1. Materiały formierskie / 251
- 5.1.1. Materiały na osnovę ziarnową (piaskową) / 251
- 5.1.2. Materiały wiążące / 255
- 5.1.3. Gliny formierskie / 256
- 5.1.4. Spoiwa nieorganiczne / 260
- 5.1.5. Żywice syntetyczne / 263
- 5.1.6. Masy ze spoiwami i procesy ich utwardzania / 265
- 5.2. Procesy zagęszczania masy — podstawy teoretyczne i technologiczne / 269
- 5.2.1. Zagęszczanie masy przez ubijanie / 270
- 5.2.2. Zagęszczanie masy przez prasowanie / 270
- 5.2.3. Zagęszczanie masy przez wstrząsanie / 282
- 5.2.4. Zagęszczanie masy przez wibrację / 283
- 5.2.5. Zagęszczanie masy przez narzucanie / 283
- 5.2.6. Zagęszczanie masy przy użyciu mieszarko-nasypywarki / 285
- 5.2.7. Nadmuchiwanie masy / 285
- 5.2.8. Wstrzeliwanie masy / 286
- 5.2.9. Zagęszczanie masy metodą impulsową / 288
- 5.2.10. Zagęszczanie masy metodą eksplozywną / 288
- 5.2.11. Współczesne metody zagęszczania mas sposobami łączonymi / 288

- 5.3. Metody formowania / 289
 - 5.3.1. Charakterystyka współczesnych metod formowania / 289
 - 5.3.2. Przebieg procesu formowania / 293
 - 5.3.3. Formowanie ręczne z modelu niedzielonego / 294
 - 5.3.4. Formowanie maszynowe / 294
 - 5.3.5. Formowanie zautomatyzowane / 297
 - 5.3.5.1. Automaty formierskie i zautomatyzowane linie odlewnicze / 297
 - 5.3.5.2. Szybkowymienne płyty modelowe / 308
 - 5.3.6. Formowanie próżniowe (proces V) / 309
 - 5.3.7. Formowanie precyzyjne metodą wytapianych modeli / 316
 - 5.3.8. Formowanie skorupowe / 318
 - 5.3.9. Proces pełnej formy (wypalanych modeli) / 319
 - 5.3.10. Wykonywanie form z mas zamrożonych / 320
- 5.4. Wykonywanie rdzeni piaskowych / 323
 - 5.4.1. Ręczne wykonywanie rdzeni / 323
 - 5.4.2. Maszynowe wykonywanie rdzeni / 324
- 5.5. Przebieg wykonywania form jednorazowych / 327
- 5.6. Podstawy modelarstwa odlewniczego / 329
 - 5.6.1. Materiały stosowane w modelarstwie odlewniczym / 329
 - 5.6.2. Zasady konstrukcji modeli trwałych / 331
 - 5.6.3. Zasady konstrukcji rdzennic / 333
- 5.7. Sposoby wytwarzania prototypów modeli i rdzennic / 336
- 5.8. Dokładność odlewów wykonywanych w formach jednorazowych / 340

6. Procesy odlewania do form trwałych / 342

- 6.1. Odlewanie kokilowe / 342
 - 6.1.1. Podstawy budowy kokil / 342
 - 6.1.2. Operowanie kokilami przy wykonywaniu odlewu / 344
 - 6.1.3. Utrzymanie kokil w cyklicznym procesie odlewania / 348
- 6.2. Odlewanie pod niskim ciśnieniem do form trwałych / 350
- 6.3. Proces odlewania ciśnieniowego / 353
 - 6.3.1. Charakterystyka procesu / 353
 - 6.3.2. Zapewnianie wnętrza formy ciśnieniowej / 354
 - 6.3.3. Odmiany procesu odlewania ciśnieniowego / 359
 - 6.3.4. Podstawy konstrukcji form ciśnieniowych / 362
- 6.4. Odlewanie odśrodkowe / 364
 - 6.4.1. Modele wirowania ciekłego metalu przy odlewaniu odśrodkowym właściwym / 364
 - 6.4.2. Praktyka odlewania odśrodkowego / 367
- 6.5. Odlewanie ciągłe / 369

7. Wybijanie, oczyszczanie i wykańczanie odlewów / 371

- 7.1. Wybijanie odlewów z form / 371
- 7.2. Oczyszczanie powierzchni odlewów / 376
- 7.3. Wykańczanie odlewów / 382
 - 7.3.1. Oddzielanie układu wlewowego i nadlewów oraz usuwanie zalewek / 383
 - 7.3.2. Naprawa wad odlewów / 385
 - 7.3.3. Zabezpieczanie powierzchni odlewów / 387
- 7.4. Obróbka cieplna odlewów / 388
 - 7.4.1. Cele i klasyfikacja obróbki cieplnej / 389

- 7.4.2. Metody poprawy niekorzystnej struktury odlewu / 390
- 7.4.3. Metody ulepszania cieplnego / 393
- 7.4.3.1. Hartowanie i odpuszczanie stopów żelaza / 394
- 7.4.3.2. Umacnianie wydzieleniowe i dyspersyjne / 400
- 7.4.3.3. Obróbka dogęszczająca odlewów (metoda HIP) / 402
- 7.5. Kontrola jakości odlewów / 407

8. Nowoczesne specjalne procesy odlewnicze / 408

- 8.1. Wytwarzanie odlewów o strukturze kierunkowej i monokrystalicznej / 408
- 8.1.1. Otrzymywanie odlewów o strukturze kierunkowej / 408
- 8.1.2. Odlewanie monokryształów / 409
- 8.2. Kompozyty odlewane / 410
- 8.2.1. Rodzaje kompozytów i metody ich otrzymywania / 411
- 8.2.1.1. Wytwarzanie kompozytów przez kształtowanie z udziałem fazy ciekłej / 411
- 8.2.1.2. Wytwarzanie kompozytów metodą „in-situ” / 413
- 8.3. Prasowanie w stanie ciekłym / 414
- 8.4. Odlewanie w stanie półstałym / 415
- 8.4.1. Wprowadzenie / 415
- 8.4.2. Technologia odlewania / 417
- 8.5. Procesy odlewania z przeciwnościennym do form jednorazowych / 418

9. Przykłady dokumentacji odlewniczej / 420

- 9.1. Rola i rodzaje dokumentacji stosowanej w odlewni / 420
- 9.2. Przykłady współczesnej dokumentacji odlewniczej / 422

10. Modelowanie procesów odlewniczych / 432

- 10.1. Cel, zakres i metody modelowania w przemyśle odlewniczym / 432
- 10.2. Modelowanie procesów przepływu metalu w formie / 436
- 10.2.1. Modelowanie fizyczne / 436
- 10.2.2. Rodzaje zagadnień i równania modelowe / 437
- 10.3. Modelowanie krzepnięcia odlewu / 442
- 10.3.1. Rodzaje zagadnień i równania modelowe / 442
- 10.3.1.1. Modelowanie zjawisk makroskopowych / 442
- 10.3.1.2. Modelowanie zjawisk w skali mikroskopowej / 450
- 10.3.2. Możliwości i sposoby wykorzystania wyników symulacji numerycznej krzepnięcia / 453
- 10.4. Modelowanie powstawania naprężeń i pęknięć w odlewach / 460
- 10.5. Modelowanie odlewniczych procesów niezalgorytmizowanych / 461
- 10.5.1. Sztuczne sieci neuronowe / 461
- 10.5.2. Systemy ekspertowe / 464

11. Oddziaływanie produkcji odlewniczej na środowisko / 468

- 11.1. Oddziaływanie procesów odlewniczych na otoczenie / 468
- 11.1.1. Oddziaływanie wibracji i wstrząsów / 469
- 11.1.2. Oddziaływanie hałasu / 470
- 11.1.3. Pyły i odpylanie / 473

- 11.1.4. Toksyczność mas, gazów i związków chemicznych / 474
- 11.1.5. Oddziaływanie promieniowania ciepłego i podczerwonego / 476
- 11.2. Odpady i ich zagospodarowanie / 477
- 11.3. Regeneracja mas / 478
- 11.3.1. Ważniejsze metody regeneracji / 479
- 11.3.2. Koszty regeneracji / 482

12. Ekonomia produkcji odlewniczej / 484

- 12.1. Znaczenie i podział kosztów wyrobów / 484
- 12.2. Modele i sposoby kalkulacji kosztów / 485
- 12.3. Struktury kosztów wytwarzania odlewów / 487

Literatura / 489

Skorowidz / 496