

Spis treści

Słowo wstępne	13
I – OPRZYRZĄDOWANIE, NARZĘDZIA I GALANTERIA DO WYKONANIA FORM	
I.1. Klasyfikacja i normalizacja skrzynek formierskich	15
I.1.1. Skrzynki formierskie odlewane w całości	16
I.1.2. Skrzynki formierskie spawane	20
I.1.3. Skrzynki formierskie składane z elementów odlewanych	21
I.2. Zasady doboru skrzynek formierskich	23
I.3. Płyty podformowe, obciążniki, żakiety	25
I.3.1. Płyty podformowe	25
I.3.2. Obciążniki form	25
I.3.3. Żakiety	27
I.4. Przyrządy i sprawdziany do form i rdzeni	29
I.4.1. Przyrządy do szlifowania rdzeni	29
I.4.2. Sprawdziany do form i rdzeni	30
I.4.3. Przyrządy do ustawiania i kontroli ustawienia rdzeni w formie	32
I.4.4. Narzędzia formierskie	34
I.4.5. Galanteria odlewnicza	34
II – WYKONYWANIE MODELI I RDZENNIC	
II.1. Modele i zespoły modelowe z drewna	37
II.1.1. Budowa drewna	37
II.1.2. Właściwości drewna	38
II.1.3. Gatunki drewna używane w modelarstwie	40
II.1.4. Wytwarzanie i klasyfikacja modeli i rdzennic z drewna	41
II.2. Modele metalowe. Zespoły modelowe wykonywane ze stopów	57
II.2.1. Modele i rdzennice	57
II.2.2. Płyty modelowe	64
II.2.3. Sposoby wykonywania modeli i rdzennic metalowych	68
II.3. Zespoły modelowe z tworzyw sztucznych	71
II.3.1. Charakterystyka materiałów	71
II.3.2. Wykonania zespołów modelowych z płyt żywic modelarskich	73
II.3.2.1. Wykonywania modeli/rdzennic na drodze obróbki ubytkowej	73
II.3.2.2. Wykonywanie modeli/rdzennic z ciekłych żywic	74
II.3.3. Modele żywiczne, skorupowe – technologia wykonania tzw. żelkotu	76
II.4. Modele styropianowe	79
II.4.1. Wytwarzanie modeli ze spienionych tworzyw wielkocząsteczkowych	79
II.4.2. Wytwarzanie modeli styropianowych na drodze obróbki mechanicznej	81
II.4.3. Wymagania stawiane modelom ze spienionego polistyrenu	83
II.4.4. Materiały stosowane na modele jednorazowe	83
II.4.5. Jednorazowe modele styropianowe dla jednostkowych odlewów ciężkich	84
II.5. Zespoły modelowe z materiałów ceramicznych	86
II.5.1. Charakterystyka materiałów	86
II.5.2. Sposoby przygotowania mieszanek ceramicznych	86
II.6. Modele i odlewy prototypowe – techniki wytwarzania	89
II.6.1. Modele prototypowe	89
II.6.2. Odlewy prototypowe z form z technologii druku 3D	91
II.7. Modele drukowane	92
III – TECHNOLOGIA WYTWARZANIA RÓŻNYCH RODZAJÓW MASY FORMIERSKIEJ	
III.1. Technologia wytwarzania mas z bentonitami syntetycznymi: bentonity tradycyjne, bentonity hybrydowe, bentonity hybrydowe z dodatkami generującymi węgiel błyszczący	97
III.1.1. Bentonity tradycyjne	98
III.1.1.1. Główne składniki mas syntetycznych	99
III.1.1.2. Proces sporządzania mas formierskich z bentonitem	102
III.1.1.3. Dodatki do mas formierskich z bentonitem	102
III.1.1.4. Zjawisko oolityzacji	104
III.1.1.5. Odświeżanie mas formierskich z bentonitem	105
III.1.2. Bentonity hybrydowe	105
III.1.3. Bentonity hybrydowe z dodatkami generującymi węgiel błyszczący	108

III.2. Technologia wytwarzania mas formierskich ze spoiwami krzemianowymi (szkło wodne, geopolimery)	111
III.2.1. Masy ze szkłem wodnym	111
III.2.2. Masy ze spoiwami geopolimerowymi	119
III.3. Technologia wytwarzania mas formierskich z podstawowymi spoiwami organicznymi (żywice syntetyczne)	123
III.3.1. Sympkie masy samoutwardzalne ze spoiwami organicznymi utwardzane na zimno	125
III.3.1.1. Sympkie masy samoutwardzalne z żywicami furfuryłowymi	125
III.3.1.2. Sympkie masy samoutwardzalne z żywicą fenolową utwardzaną estrami (proces alphaset)	126
III.3.1.3. Sympkie masy samoutwardzalne ze spoiwem uretanowym	127
III.3.1.4. Sympkie masy samoutwardzalne z żywicą alkidową	128
III.3.2. Sympkie masy szybkooutwardzalne ze spoiwami organicznymi utwardzane gazami	128
III.3.2.1. Proces <i>cold-box</i>	128
III.3.2.2. Proces fenolowy CO ₂	129
III.3.3. Sympkie masy szybkowiązące ze spoiwami organicznymi utwardzane termicznie	130
III.3.3.1. Proces Croninga (formowanie skorupowe), piasek otaczany żywicą	130
III.3.3.2. Proces gorącej rdzennicy (<i>hot-box</i>)	130
III.4. Technologia wytwarzania mas formierskich z odpadowymi popiołami lotnymi (FASAND)*	131
IV – PROCESY I ZMECHANIZOWANE SYSTEMY WYTWARZANIA ODLEWÓW W FORMACH PIASKOWYCH	
IV.1. Charakterystyka technologii wytwarzania form nietrwałych	139
IV.2. Mechanizacja i automatyzacja wytwarzania form odlewniczych z masy klasycznej	142
IV.2.1. Zarys historii mechanizacji wytwarzania form skrzynkowych	142
IV.2.2. Zmechanizowane i zautomatyzowane stanowiska, gniazda i linie wytwarzania odlewów w skrzynkach	145
IV.2.3. Mechanizacja wytwarzania odlewów w formach bezskrzynkowych (rys historyczny)	147
IV.3. Klasyfikacja maszyn i urządzeń formierskich do wytwarzania form w skrzynkach	159
IV.3.1. Ocena efektów zagęszczania masy	160
IV.3.2. Charakterystyka urządzeń formierskich klasyfikowanych ze względu na metodę zagęszczania masy	161
IV.3.2.1. Wytwarzanie form z masy zagęszczanej prasowaniem statycznym	162
IV.3.2.2. Wytwarzanie form z masy zagęszczanej wstrząsaniem i wstrząsaniem z doprasowaniem	173
IV.3.2.3. Wytwarzanie form z masy zagęszczanej wibracją z doprasowaniem	178
IV.3.2.4. Wykonywanie form z masy zagęszczanej strumieniem sprężonego powietrza	180
IV.3.2.4.1. Klasyfikacja rozwiązań i charakterystyka procesu formowania strumieniowego	189
IV.3.2.4.2. Podstawy teoretyczne procesu formowania strumieniowego	193
IV.3.2.5. Wykonywanie form z w warunkach podciśnienia	200
IV.3.2.6. Wykonywanie form z masy zagęszczanej przez narzucanie	204
IV.3.2.7. Charakterystyka nakładów i warunków wytwarzania form z masy klasycznej	208
IV.3.3. Klasyfikacja urządzeń formierskich ze względu na strukturę i rozwiązania zespołów	218
IV.3.3.1. Charakterystyka i wyposażenie linii wytwarzania odlewów w skrzynkach	236
IV.3.3.1.1. Struktura linii wytwarzania odlewów w formach skrzynkowych	236
IV.3.3.1.2. Urządzenia stanowiące wyposażenie linii wytwarzania odlewów	239
IV.4. Klasyfikacja automatów do formowania bezskrzynkowego. Charakterystyka linii odlewniczych	247
IV.4.1. Automaty formierskie do wytwarzania form bezskrzynkowych pionowo dzielonych. Linie odlewnicze	248
IV.4.1.1. Linie odlewnicze z automatami formierskimi firmy DISA	248
IV.4.1.1.1. Charakterystyka procesu technologicznego wytwarzania form	262
IV.4.1.1.2. Ogólne zasady projektowania układu wlewowego	269
IV.4.1.1.3. Odcinek zalewania form i studzenia odlewów w formach	276
IV.4.1.2. Linie odlewnicze z automatami formierskimi Loramatic	279
IV.4.1.3. Linie odlewnicze z automatami formierskimi firmy KOYO	282
IV.4.2. Linie odlewnicze z automatami do wytwarzania form bezskrzynkowych w układzie pionowym, a składaniem i zalewaniem w układzie poziomym	284
IV.4.2.1. Linie odlewnicze z automatami formierskimi Disa Match firmy DISA	284
IV.4.2.2. Linie odlewnicze z automatami formierskimi grupy SINTOKOGIO	289
IV.4.3. Linie odlewnicze z automatami do wytwarzania form bezskrzynkowych z poziomą płaszczyzną/linią podziału	292
IV.4.3.1. Linie odlewnicze z automatami formierskimi Haflinger	292
IV.4.3.2. Linie odlewnicze z automatami formierskimi Match-Blomatic	294
IV.4.3.3. Linie odlewnicze z automatami formierskimi firmy Hunter	294
IV.5. Mechanizacja i automatyzacja wytwarzania form odlewniczych z mas chemicznie utwardzanych	301
IV.6. Technologia modeli zgazowywanych	306
IV.6.1. Rys historyczny	306
IV.6.2. Klasyfikacja procesu zgazowywanych modeli	306
IV.6.2.1. Ogólna charakterystyka procesu zgazowywanych modeli	307
IV.6.2.2. Wytwarzanie modeli (część biała)	308
IV.6.2.3. Wykonanie odlewu (część czarna)	312
IV.6.2.4. Ekologiczne aspekty procesu zgazowywanych modeli	314
IV.7. Odlewanie ablacyjne	317

IV.7.1. Wiadomości ogólne	317
IV.7.2. Przebieg procesu odlewania ablacyjnego	317
IV.7.3. Właściwości odlewów	318
IV.7.4. Pierwsze urządzenie do odlewania ablacyjnego	318
IV.7.5. Krajowe osiągnięcia w rozwoju technologii odlewania ablacyjnego	319
IV.7.6. Zastosowanie technologii odlewania ablacyjnego	320
IV.7.7. Problematyka doboru masy formierskiej do odlewania ablacyjnego	321
IV.8. Odlewanie precyzyjne	326
IV.8.1. Wprowadzenie	326
IV.8.2. Metoda wytapianych modeli	328
IV.8.2.1. Przebieg klasycznego procesu wykonywania odlewów metodą wytapianych modeli	330
IV.8.2.2. Proces modeli wypalanych oraz proces Replicast CS	351
IV.8.3. Metoda Shawa	352
IV.8.3.1. Realizacje metody Shawa	352
IV.8.3.2. Materiały formierskie	353
IV.8.3.3. Podstawowy proces technologiczny	354
IV.8.4. Formowanie skorupowe	356
IV.8.5. Odlewanie w formach z mas gipsowych	357
 V – PROCESY I ZMECHANIZOWANE SYSTEMY WYTWARZANIA RDZENI ODLEWNICZYCH	
V.1. Ogólna charakterystyka technologiczna metod wykonywania rdzeni	365
V.1.1. Ogólna klasyfikacja rdzeni odlewniczych	365
V.1.2. Zmechanizowane systemy wytwarzania rdzeni odlewniczych	366
V.2. Procesy dmuchowe wytwarzania rdzeni odlewniczych	368
V.2.1. Proces nadmuchiwania	368
V.2.2. Proces wstrzeliwania	369
V.2.3. Porównanie parametrów roboczych i cech konstrukcyjnych maszyn dmuchowych	370
V.2.4. Obszary zastosowań metod dmuchowych w technologiach rdzeni	372
V.3. Czynniki determinujące wytwarzanie rdzeni metodami dmuchowymi	373
V.3.1. Ewakuacja masy z komory nabojoyej	373
V.3.1.1. Współczynnik ewakuacji masy z komory nabojoyej maszyny dmuchowej	375
V.3.1.2. Graniczna objętość rdzenia w stosunku do pojemność komory nabojoyej	375
V.3.2. Charakterystyczne fazy procesu zapełniania wnęki rdzennicy	376
V.3.3. Hydrodynamiczne parametry strugi dwufazowej: powietrze – faza stała, ich określanie oraz aplikacja do opisu procesu dmuchowego	378
V.3.3.1. Siła dynamicznego oddziaływania strumienia dwufazowego na masę	378
V.3.3.2. Natężenie wypływu strumienia mieszaniny dwufazowej z komory nabojoyej	381
V.3.3.3. Gęstość strumienia dwufazowego (piaskowo-powietrznego)	382
V.3.3.4. Koncentracja fazy stałej w strumieniu piaskowo-powietrznym procesów dmuchowych	383
V.3.3.5. Prędkość strumienia dwufazowego wypływającego z otworu strzałowego i współczynnik jednostkowego natężenia wypływu	384
V.4. Technologiczne aspekty dmuchowych procesów wytwarzania rdzeni odlewniczych	386
V.4.1. Gęstość pozorna, porowatość oraz przepuszczalność rdzeni wykonywanych metodami dmuchowymi	386
V.4.2. Empiryczne zależności do określenia średniej gęstości pozornej masy rdzeniowej	388
V.4.3. Określenie porowatości objętościowej zagęszczanej masy	389
V.4.4. Struktura rozkładu zagęszczenia masy w procesach dmuchowych	390
V.4.5. Stanowiska do badań technologicznych procesów dmuchowych. Ocena przydatności mas rdzeniowych i efektów badania zapełniania oraz zagęszczania masy metodami dmuchowymi	392
V.4.5.1. Uniwersalne stanowisko laboratoryjne do badania zapełniania i zagęszczania masy metodami dmuchowymi	392
V.4.5.2. Sposoby i techniki pomiarowe oraz oprzyrządowanie stanowisk do badań technologicznych procesów dmuchowych	394
V.4.5.2.1. Ocena zdolności masy do zapełniania rdzennicy i zagęszczania metodami dmuchowymi	394
V.4.5.2.2. Modelowe stanowisko technologiczne do testowania mas rdzeniowych w aspekcie oceny przydatności do dmuchowych procesów sporządzania	397
V.5. Podstawowe parametry funkcjonalnych elementów oprzyrządowania procesu dmuchowego	401
V.5.1. Dysze dmuchowe i otwory doprowadzające masę rdzeniową do rdzennicy	401
V.5.2. Usytuowanie otworu dmuchowego w stosunku do największych gabarytów rdzenia	403
V.5.3. Dobór odpowietrzenia i usytuowania odpowietrzeń we wnęce rdzennicy	404
V.6. Metody dmuchowe w podstawowych technologiach rdzeni z mas chemoutwardzalnych	407
V.6.1. Czynniki procesowe metod dmuchowych w technologiach mas utwardzanych chemicznie w temperaturze otoczenia	407
V.6.2. Charakterystyka typowych technologii zimnej rdzennicy z systemami gazowego utwardzania masy rdzeniowej ..	408
V.6.2.1. System z żywicą fenolową utwardzaną związkami amin w postaci gazowej	409

V.6.2.2. System z żywicą epoksydowo-akrylową, utwardzaną SO_2	410
V.6.2.3. System z zasadową żywicą fenolową utwardzaną za pomocą estrów (proces mrówczany MF)	410
V.6.2.4. Proces fenolowy CO_2 (proces resol/ CO_2)	410
V.6.2.5. Metoda Redset	411
V.6.3. Typowe elementy wyposażenia systemu gazowego utwardzania mas rdzeniowych	411
V.6.3.1. Wytwornice (generatory) aktywnego gazu – wymagania dotyczące ciśnienia	411
V.6.3.2. Określenie pneumatycznych parametrów przedmuchiwania rdzenia	411
V.6.3.3. Powierzchnie przekroju i średnice przewodów rurowych w systemach gazowego utwardzania mas rdzeniowych	412
V.6.3.4. Problemy ekologiczne związane z systemami gazowego utwardzania masy rdzeniowej	413
V.6.4. Czynniki procesowe metod dmuchowych w technologiach mas utwardzanych chemicznie w temperaturze podwyższonej	415
V.6.4.1. Ogólna charakterystyka technologii gorącej rdzennicy (<i>hot-box</i>)	415
V.6.4.2. Proces ciepłej rdzennicy (<i>warm-box</i>)	419
V.6.4.3. Metoda utwardzania skokowego (<i>thermoshock</i>)	419
V.6.4.4. Metoda utwardzania przedmuchiwanym podgrzewanym powietrzem (<i>warm air process</i>)	419
V.7. Rozwiazania i parametry nowoczesnych strzelarek (przykłady)	421
V.7.1. Wprowadzenie	421
V.7.2. Strzelarki firmy RÖPERWERK	421
V.7.3. Strzelarki, mieszarki i generatory gazu utwardzającego firmy LAEMPE MÖSNER SINTO	427
V.7.3.1. Mieszarki do mas rdzeniowych firmy LAEMPE MÖSNER SINTO	428
V.7.3.2. Generatory gazu utwardzającego firmy LAEMPE MÖSNER SINTO	429
V.7.4. Wybrane modele strzelarek firmy IMF – model POWERCORE i model PRACTICORE	430
V.7.4.1. System oczyszczania powietrza poprocesowego	432
V.7.5. Strzelarki i urządzenia pomocnicze firmy LÜBER GmbH	433
V.7.5.1. Charakterystyka ogólna	433
V.7.5.2. Główne parametry techniczne wybranych strzelarek firmy LÜBER GmbH	434
V.7.5.3. Generatory gazu utwardzającego firmy LÜBER GmbH	434
V.7.6. Strzelarki firmy OMEGA SINTO FOUNDRY MACHINERY	435
V.7.7. Automaty do wstrzeliwania rdzeni firmy STAPELMANN GmbH	436
V.7.8. Urządzenia do zautomatyzowanego wytwarzania rdzeni firmy FERRO-MASZ	438
V.8. Metody oceny jakości rdzeni piaskowych	442
V.8.1. Wskaźniki jakości rdzeni	442
V.8.2. Kontrola geometrii rdzeni	443
V.8.3. Kontrola powłok ochronnych na rdzeniach/formach piaskowych	445
V.8.4. Nieniszczące metody kontroli jakości rdzeni	448

VI – ODLEWANIE DO FORM TRWAŁYCH

VI.1. Odlewanie kokilowe	457
VI.1.1. Pojęcia podstawowe	457
VI.1.1.1. Charakterystyka odlewania kokilowego	457
VI.1.1.2. Zakres stosowania odlewania kokilowego	459
VI.1.1.3. Maszyny i urządzenia wykorzystywane w procesie	462
VI.1.2. Konstrukcja odlewów kokilowych	469
VI.1.2.1. Technologiczność odlewów kokilowych	469
VI.1.2.2. Zalecenia konstrukcyjne i dokładność wymiarowa odlewów wykonanych ze stopów nieżelaznych	470
VI.1.2.3. Zalecenia konstrukcyjne i dokładność wymiarowa odlewów wykonanych ze stopów żelaza	473
VI.1.3. Konstrukcja kokil i rdzeni	477
VI.1.3.1. Ogólne wytyczne projektowania kokil	477
VI.1.3.2. Ogólne wytyczne projektowania rdzeni	485
VI.1.4. Dobór materiału formy i rdzenia oraz metod ich wytwarzania	489
VI.1.4.1. Materiały stosowane na formy w odlewaniu kokilowym	489
VI.1.4.2. Materiały stosowane na rdzenie w odlewaniu kokilowym	491
VI.1.4.3. Techniki wytwarzania stosowane do produkcji kokil i rdzeni	491
VI.1.5. Parametry odlewania kokilowego	495
VI.1.5.1. Cykl produkcji odlewu kokilowego	495
VI.1.5.2. Temperatura robocza kokili i odlewanego stopu	496
VI.1.5.3. Czas do usunięcia odlewu z kokili. Czas cyklu produkcyjnego	499
VI.1.5.4. Powłoki ochronne stosowane na kokile i rdzenie	500
VI.1.6. Zużycie kokil i rdzeni	503
VI.1.6.1. Zużycie eksploatacyjne elementów kokil	503
VI.1.6.2. Metody oceny zużycia i regeneracji form i rdzeni	504
VI.1.7. Typowe wady odlewów kokilowych	504
VI.2. Odlewanie do form trwałych z udziałem ciśnienia zewnętrznego	507

VI.2.1. Rola ciśnienia zewnętrznego w procesach odlewania do form trwałych	507
VI.2.2. Odlewanie pod niskim ciśnieniem	512
VI.2.2.1. Pojęcia podstawowe	512
VI.2.2.2. Przeznaczenie	513
VI.2.2.3. Urządzenia podstawowe i pomocnicze	514
VI.2.2.4. Wytyczne konstruowania odlewów i form	515
VI.2.2.5. Pokrycia	516
VI.2.2.6. Parametry odlewania	516
VI.2.2.7. Specjalne sposoby odlewania pod niskim ciśnieniem	517
VI.2.2.7.1. Odlewanie pod niskim ciśnieniem z doprasowaniem (<i>squeeze casting low pressure</i>) (LPSC)	517
VI.2.2.7.2. Odlewanie CDC – <i>cast-decant-cast</i>	518
VI.2.2.7.3. Odlewanie antygrawitacyjne (przeciwważeniowe)	519
VI.2.2.7.4. Odlewanie pod niskim ciśnieniem z przeciwciskaniem	524
VI.2.2.8. Wady odlewów	527
VI.2.3. Odlewanie pod wysokim ciśnieniem	528
VI.2.3.1. Pojęcia podstawowe	528
VI.2.3.1.1. Charakterystyka procesu	528
VI.2.3.1.2. Zakres zastosowania	528
VI.2.3.2. Wybór maszyn i urządzeń	529
VI.2.3.2.1. Dobór siły zwierania maszyny ciśnieniowej	530
VI.2.3.2.2. Zapotrzebowanie masy ciekłego metalu na jeden wtrysk	531
VI.2.3.2.3. Maszyny ciśnieniowe z systemem próżniowym	531
VI.2.3.2.4. Piece topialne	535
VI.2.3.2.5. Automatyzacja procesu	537
VI.2.3.3. Budowa maszyn ciśnieniowych	545
VI.2.3.3.1. Układy zwierające	545
VI.2.3.3.2. Układ wyrzutnika	549
VI.2.3.3.3. Układ prasowania	549
VI.2.3.4. Rodzaje form ciśnieniowych	554
VI.2.3.4.1. Formy jednowątkowe	554
VI.2.3.4.2. Formy wielowątkowe	554
VI.2.3.4.3. Formy mieszane	556
VI.2.3.5. Konstrukcja form ciśnieniowych	558
VI.2.3.5.1. Rdzenie	561
VI.2.3.5.2. Układy wlewowe i belki wlewowe	563
VI.2.3.5.3. Suwaki	563
VI.2.3.5.4. Zawory	565
VI.2.3.5.5. Przelewy	567
VI.2.3.5.6. Układ chłodząco-stabilizujący	568
VI.2.3.5.7. Dobór materiałów na formy ciśnieniowe	572
VI.2.3.5.8. Żywotność form ciśnieniowych	572
VI.2.3.5.9. Pokrycia	574
VI.2.3.6. Projektowanie odlewów ciśnieniowych	576
VI.2.3.6.1. Pojęcia podstawowe	576
VI.2.3.6.2. Dokładność wymiarowa	579
VI.2.3.6.3. Obróbka końcowa	581
VI.2.3.7. Parametry procesu odlewania	582
VI.2.3.7.1. Przygotowanie ciekłego metalu	582
VI.2.3.7.2. Temperatura formy i ciekłego metalu	585
VI.2.3.7.3. Ciśnienie prasowania	586
VI.2.3.7.4. Wypełnianie formy ciekłym metalem, dobór przekroju układu wlewowego	587
VI.2.3.7.5. Czynniki wpływające na cykl odlewniczy	595
VI.2.3.8. Wady odlewów ciśnieniowych	600
VI.2.3.9. Prasowanie w stanie ciekłym oraz jego odmiany	614
VI.2.3.9.1. Pojęcia podstawowe	614
VI.2.3.9.2. Dobór stopów do prasowania w stanie ciekłym	615
VI.2.3.9.3. Rodzaje i budowa maszyn do prasowania w stanie ciekłym	616
VI.2.3.9.4. Struktura i właściwości odlewów	617
VI.2.3.9.5. Konstrukcja formy do prasowania w stanie ciekłym	619
VI.2.3.9.6. Infiltracja ciśnieniowa	620
VI.2.3.9.7. Przykłady odlewów prasowanych w stanie ciekłym	621
VI.2.3.9.8. Charakterystyka metod odlewania w stanie ciekło-stałym	625
VI.2.3.9.8.1. Zasady doboru stopów metali do kształtowania tiksotropowego	626

VI.2.3.9.8.2. Metody przygotowania stopów metali do kształtowania tiksotropowego	627
VI.2.3.9.8.2.1. Modyfikacja stopu w fazie ciekłej	627
VI.2.3.9.8.2.2. Przepływ stopu przez chłodzoną, pochyloną rynnę (Cooling Slope System)	628
VI.2.3.9.8.2.3. Szybkie przechłodzenie do zakresu ciekło-stałego (NRC New Rheocasting)	628
VI.2.3.9.8.2.4. Formowanie natryskowe (Spray Forming)	629
VI.2.3.9.8.2.5. Chłodzenie z fazy ciekłej przy jednoczesnym mieszaniu	630
VI.2.3.9.8.2.6. Globularyzacja dendrytów podczas nagrzewania i przebywania stopów w zakresie ciekło-stałym	632
VI.2.3.9.8.2.7. Odształcenie plastyczne poniżej i powyżej temperatury rekryształizacji	632
VI.2.3.9.8.3. Metody formowania tiksotropowego	633
VI.2.3.9.8.3.1. Przykłady zastosowania odlewniczych stopów aluminium oraz do obróbki plastycznej w procesie kształtowania tiksotropowego	635
VI.2.3.9.8.3.2. Rola składu chemicznego oraz przykłady zastosowania stali do procesów kształtowania tiksotropowego	635
VI.2.3.9.8.3.3. Przykłady elementów wykonanych technologią odlewania tiksotropowego	636
VI.2.3.9.8.3.4. Doświadczenia krajowe	637
VI.2.4. Odlewanie odśrodkowe	641
VI.2.4.1. Wiadomości ogólne	641
VI.2.4.2. Metody odlewania w formach wirujących	641
VI.2.4.3. Wady i zalety procesu odlewania odśrodkowego	642
VI.2.4.4. Metale i stopy stosowane na odlewy odśrodkowe, przykłady z praktyki odlewniczej	642
VI.2.4.5. Nowe kierunki wykorzystania metod odlewania odśrodkowego	645
VI.3. Odlewanie półciągłe i ciągłe	648
VI.3.1. Charakterystyka i zakres zastosowania procesu	648
VI.3.2. Typy stosowanych urządzeń	651
VI.3.3. Parametry technologii odlewania i specyfika krzepnięcia odlewu	658

VII – OCZYSZCZANIE I OBRÓBKA WYKAŃCZAJĄCA ODLEWÓW

VII.1. Zakres i charakterystyka procesów technologicznych obróbki odlewów	673
VII.2. Usuwanie odlewów z formy	676
VII.2.1. Charakterystyka metod i urządzeń do wybijania	679
VII.2.1.1. Kraty do wybijania	679
VII.2.1.2. Urządzenia do wybijania próżniowego i impulsowego	686
VII.2.1.3. Wieloczynnościowe bębny	687
VII.3. Usuwanie rdzeni	691
VII.4. Oddzielanie elementów układu wlewowego i zasilającego. Usuwanie nadmiaru metalu	692
VII.4.1. Odłamywanie (utrącanie)	694
VII.4.2. Odcinanie (przecinanie)	695
VII.4.2.1. Przecinarki	696
VII.4.2.2. Przecinanie tarczami ściernymi. Ściernice	698
VII.4.2.3. Termiczne rozdzielanie materiałów	699
VII.4.2.4. Obróbka erozyjna. Rozdzielanie materiałów	705
VII.4.2.5. Kruszkarki	707
VII.5. Oczyszczanie powierzchni odlewów	708
VII.5.1. Charakterystyka technologii i urządzeń do oczyszczania mechanicznego, ociernego	709
VII.5.1.1. Oczyszczanie ociernie, grawitacyjne	709
VII.5.1.2. Oczyszczanie ociernie, wibracyjne	712
VII.5.2. Charakterystyka technologii i urządzeń do oczyszczania mechanicznego, strumieniowego	712
VII.5.2.1. Materiały ściernie (ścierniwa)	713
VII.5.2.2. Obróbka strumieniowo-ścierna, wirnikowa	719
VII.5.2.2.1. Oczyszczarki z wirnikami rzutowymi	720
VII.5.2.2.2. Parametry strumienia śrutu wyrzucanego przez łopatkę wirnika rzutowego	729
VII.5.2.2.3. Zakres i efekty obróbki ścierniej strumieniem ścierniwa (śrutu) oraz obróbki umacniającej warstwy wierzchniej	736
VII.5.2.2.4. Mechanizacja i automatyzacja obróbki strumieniem ścierniwa	743
VII.5.2.3. Oczyszczanie pneumatyczne	747
VII.5.2.4. Oczyszczanie strumieniowe wodne i hydrościernie	753
VII.5.3. Charakterystyka oczyszczania fizykochemicznego	756
VII.5.3.1. Oczyszczanie chemiczne	756

VII.5.3.2. Oczyszczanie elektrochemiczne	757
VII.5.3.3. Oczyszczanie ultradźwiękowe	759
VII.5.3.4. Oczyszczanie elektrohydrauliczne	759
VII.5.3.5. Oczyszczanie metodami specjalnymi. Oczyszczanie cieplne i sodowanie	761
VII.6. Wykańczanie powierzchni odlewów. Usuwanie nadmiaru metalu i wygładzanie powierzchni odlewów	764
VII.6.1. Usuwanie nadmiaru metalu	764
VII.6.1.1. Szlifowanie	764
VII.6.1.2. Ścinanie	771
VII.6.1.3. Specjalne metody usuwania zalewek	772
VII.6.2. Wyposażenie stanowisk obróbki wykańczającej. Robotyzacja procesów produkcyjnych	773
VII.6.2.1. Uchwyty	775
VII.6.2.2. Centra obróbcze	775
VII.6.2.3. Manipulatory przemysłowe	776
VII.6.2.4. Roboty przemysłowe	777
VII.6.3. Obróbka ścierna powierzchni odlewów. Wygładzarki	782
VII.7. Charakterystyka technologii oraz urządzeń do obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej	795
VII.7.1. Charakterystyka technologii	795
VII.7.2. Charakterystyka pieców do obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej	798
VII.8. Warstwy powierzchniowe. Powłoki na wyrobach metalowych i odlewach	809
VII.8.1. Malowanie odlewów	810
VII.8.1.1. Farby, lakiery, emalie malarskie	811
VII.8.1.2. Technologie malowania odlewów	813
VII.8.2. Nanoszenie powłok niemetalowych	819
VII.8.2.1. Pokrywanie powierzchni odlewów materiałami z lepiszczem bitumicznym	819
VII.8.2.2. Emalie techniczne. Emaliowanie odlewów	819
VII.8.2.3. Powłoki z tworzyw sztucznych i innych materiałów powłokowych. Metody i techniki nanoszenia	821
VII.8.2.4. Powłoki konwersyjne	823
VII.9. Nanoszenie powłok metalowych na odlewy	833
VII.9.1. Cynkowanie	833
VII.9.1.1. Wprowadzenie	833
VII.9.1.2. Cynkowanie zanurzeniowe	834
VII.9.1.2.1. Ocena budowy powłoki cynkowej na podstawie układu równowagi fazowej Fe-Zn	834
VII.9.1.2.2. Technologia cynkowania zanurzeniowego pojedynczych wyrobów	837
VII.9.1.2.2.1. Temperatura procesu cynkowania	839
VII.9.1.2.2.2. Skład chemiczny podłoża wyrobu	839
VII.9.1.2.2.3. Skład chemiczny kąpieli cynkowej	841
VII.9.1.2.3. Krystalizacja warstwy cynku	842
VII.9.1.2.3.1. Namrożenie warstwy cynku	842
VII.9.1.2.4. Mechanizm wzrostu powłoki cynkowej	844
VII.9.1.2.4.1. Wyroby ze stali i staliwa	844
VII.9.1.2.4.2. Odlewy z żeliwa	847
VII.9.1.2.4.2.1. Wpływ osnowy metalowej żeliwa na powłokę cynkową	848
VII.9.1.2.5. Wpływ chropowatości powierzchni odlewu z żeliwa na powłokę cynkową oraz technologiczna ocena jej grubości	850
VII.9.1.2.5.1. Sekwencja wzrostu powłoki cynkowej	852
VII.9.1.2.5.2. Wysokotemperaturowe cynkowanie zanurzeniowe odlewów z żeliwa	853
VII.9.2. Powłoki ochronne zawierające aluminium	854
VII.9.2.1. Metalizacja zanurzeniowa z wykorzystaniem Al lub Al-Si	854
VII.9.2.2. Metalizacja zanurzeniowa z wykorzystaniem Al55-Zn-Si	855
VII.9.3. Cynowanie	855
VII.9.4. Powłoki galwaniczne	856

VIII – WADY ODLEWÓW I ICH NAPRAWA

VIII.1. Klasyfikacja wad	861
VIII.2. Kontrola wymiarowa. Tolerancje	864
VIII.3. Ocena jakości powierzchni odlewów (chropowatość)	866
VIII.3.1. Pomiary chropowatości, pojęcia podstawowe	867
VIII.3.2. Wskaźniki (parametry) chropowatości (według dotychczasowej PN-87/M-04251)	867
VIII.3.3. Metody pomiaru chropowatości powierzchni odlewów	868
VIII.4. Ocena budowy wewnętrznej odlewów	872
VIII.4.1. Ocena nieciągłości materiałowej w strukturze odlewów	872
VIII.5. Metody rozpoznawania i diagnozowania wad (system ekspercki, sieć neuronowa)	887
VIII.6. Charakterystyka technologii i urządzeń do naprawy wadliwych odlewów	892

VIII.6.1. Klasyfikacja i zakres metod naprawy wadliwych odlewów	892
VIII.6.2. Naprawa wad w sposób mechaniczny	893
VIII.6.3. Spawanie odlewów	896
VIII.6.4. Kitowanie i metalizacja	901
VIII.6.5. Uszczelnianie odlewów	902
VIII.6.6. Inne metody naprawy odlewów	904
IX – PROCESY WSPOMAGANIA PRODUKCJI ODLEWÓW	
IX.1. Komputerowe wspomaganie produkcji odlewów	909
IX.1.1. Wprowadzenie	909
IX.1.2. Miejsce kodów symulacyjnych w przemyśle odlewniczym	910
IX.1.3. Szczególne uwarunkowania modelowania procesów odlewania	911
IX.1.4. Problematyka efektywnego stosowania symulacji procesu odlewania	912
IX.2. Zastosowanie technik szybkiego prototypowania w odlewnictwie	922
IX.2.1. Przygotowanie procesu	922
IX.2.2. Metody druku i stosowane materiały	922
IX.2.3. Wytwarzanie odlewów w drukowanych formach piaskowych	927
IX.2.4. Zastosowanie druku 3D w procesie odlewania metodą wytapianych „traconych” modeli	929
IX.2.5. Zastosowanie metod addytywnych w technologii wytwarzania metalowych odlewów kompozytowych	931
X – ZINTEGROWANE SYSTEMY ZARZĄDZANIA	
X.1. Integracja systemów zarządzania	935
X.2. Normalizacja międzynarodowa, europejska i krajowa. Normalizacja wspomagająca systemy zarządzania	937
X.2.1. Normalizacja w zarządzaniu jakością	941
X.2.2. Normalizacja w zarządzaniu środowiskowym	946
X.2.3. Normalizacja w zarządzaniu bezpieczeństwem i higieną pracy	950
X.3. Wybrane, podstawowe zagadnienia z zakresu systemu zarządzania jakością	953
X.3.1. Wypisy z historii	953
X.3.2. Podstawowe terminy	954
X.3.3. Etapy i koncepcje w rozwoju systemów zapewnienia jakości	956
X.3.4. Planowanie jakości	960
X.3.5. Sterowanie i zapewnienie jakości	960
X.3.6. Zasady, metody i narzędzia	961
X.3.6.1. Zasady zarządzania jakością	961
X.3.6.2. Metody zarządzania jakością	962
X.3.6.3. Narzędzia zarządzania jakością	964
X.3.6.3.1. Zbieranie danych	965
X.3.6.3.2. Analiza danych	976
X.3.6.3.3. Nowe narzędzia zarządzania jakością	979
X.3.6.4. Pomiary. Przydatność systemów pomiarowych. Błędy i niepewność	980
X.3.6.5. Koszty jakości	986
X.3.6.6. Komputerowe wspomaganie zarządzania jakością	989
X.4. Wybrane zagadnienia z zakresu systemu zarządzania środowiskowego	992
X.4.1. Wprowadzenie	992
X.4.2. Ocena cyklu życia LCA	992
X.5. Wybrane zagadnienia z zakresu systemu zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy	998
X.5.1. Wprowadzenie	998
X.5.2. Identyfikacja zagrożeń i ocena ryzyka zawodowego	1000
X.5.2.1. Zagrożenia zawodowe	1000
X.5.2.2. Ocena ryzyka zawodowego	1002
XI – TRANSPORT WEWNĘTRZNY W ODLEWNI	
XI.1. Charakterystyka ogólna	1013
XI.2. Klasyfikacja systemów i środków transportu	1014
XI.3. Transport wewnętrzny i jego funkcje	1015
XI.4. Infrastruktura transportu wewnętrznego	1016
XI.4.1. Dźwignice	1017
XI.4.2. Wózki i pojazdy	1022
XI.4.3. Przenośniki	1027
XI.5. Przenośniki pneumatyczne	1035
XI.5.1. Pneumatyczne przemieszczanie materiałów sypkich	1035
XI.5.2. Klasyfikacja transportu pneumatycznego	1037
XI.5.3. Właściwości materiału transportowego	1041

XI.5.4. Parametry strumienia dwufazowego	1042
XI.5.5. Zastosowania transportu pneumatycznego w odlewniach	1043
XI.5.6. Fluidyzacja materiałów sypkich	1052
XI.5.7. Pneumatyczne przemieszczanie pojemników (poczta pneumatyczna)	1055
XII – GOSPODARKA MEDIAMI (ENERGIA ELEKTRYCZNA, PALIWA GAZOWE I WODA) W ODLEWNIACH	
XII.1. Energia elektryczna	1061
XII.2. Paliwa gazowe dystrybuowane sieciami gazowymi	1078
XII.3. Woda dla potrzeb przemysłu odlewniczego	1082
XII.4. Podsumowanie	1085
XIII – WPLYW ODLEWNI NA ŚRODOWISKO I WARUNKI PRACY	
XIII.1. Wpływ odlewni na środowisko	1089
XIII.2. Emisja pyłów i gazów do środowiska	1092
XIII.3. Dopuszczalne stężenia zanieczyszczeń	1097
XIII.4. Skutki zanieczyszczenia powietrza	1100
XIII.5. Metody pomiaru stopnia zapylenia	1101
XIII.6. Odpady i ich zagospodarowanie	1102
XIII.7. Hałas i wibracje	1106
XIII.8. Mikroklimat	1112
XIV – DRUK 3D W TECHNOLOGII ODLEWNICZEJ	
XIV.1. Wprowadzenie	1117
XIV.2. Technologie druku 3D	1122
XIV.2.1. Technologie druku oparte na wytłaczaniu materiału – <i>Materials Extrusion</i>	1122
XIV.2.2. Technologie druku oparte na fotopolimeryzacji kadzi – <i>Vat Polymerisation</i>	1124
XIV.2.3. Technologie druku oparte na spajaniu w złożu proszkowym – <i>Powder Bed Fusion</i>	1127
XIV.2.4. Technologie druku oparte na natryskiwaniu środkiem wiążącym – <i>Binder Jetting</i>	1129
XIV.2.5. Technologie druku oparte na natryskiwaniu materiału budulcowego – <i>Material Jetting</i>	1130
XIV.2.6. Technologie druku oparte na ukierunkowanym osadzaniu energii – <i>Directed Energy Deposition</i>	1132
XIV.2.7. Technologia druku oparta na laminowaniu arkuszy – <i>Sheet Lamination</i>	1134
XIV.3. Materiały polimerowe stosowane w druku 3D	1140
XIV.3.1. Przegląd najważniejszych polimerów stosowanych w druku 3D	1141
XIV.3.1.1. Terpolimer akrylonitrylo–butadieno–styrenowy	1143
XIV.3.1.2. Polilaktyd	1143
XIV.3.1.3. Polipropylen	1144
XIV.3.1.4. Poli(tetraftalan etylenu)	1145
XIV.3.1.5. Polistyren	1146
XIV.3.1.6. Poli(metakrylan metylu)	1147
XIV.3.1.7. Poliwęglany	1148
XIV.3.1.8. Poliuretany i termoplastyczne elastomery poliuretanowe	1148
XIV.3.1.9. Poliamidy	1150
XIV.3.1.10. Polimery i żywice fotosiecujące	1151
XIV.4. Technologie druku 3D stosowane w odlewnictwie	1155
XIV.4.1. Technika SLA	1155
XIV.4.2. Technika FDM	1156
XIV.4.3. Technika MJF	1157
XIV.4.4. Technika SLS	1158
XIV.4.5. Technika InkJet	1159
XIV.4.6. Porównanie technik druku 3D	1159
XIV.4.7. Oprzyrządowanie modelowe	1161
XIV.4.8. Przykłady aplikacji technologii addytywnych w produkcji form i rdzeni	1161
XIV.4.9. Przykładowe urządzenia do drukowania rdzeni (oferta firmy ExOne)	1166
XIV.4.10. Wytyczne dla konstruktorów modeli w zależności od wybranych technologii druku	1167
XIV.4.11. Odlewnictwo precyzyjne i artystyczne – technologia wytapianych modeli	1170
XIV.4.11.1. Materiały i metody stosowane w odlewnictwie artystycznym i precyzyjnym	1171
XIV.4.11.2. Przykładowe urządzenia drukujące – oferta firmy Solidscape	1174
XIV.4.12. Podsumowanie	1175
XV – PRZEMYSŁ 4.0. GOSPODARKA BEZODPADOWA	
XV.1. Gospodarka o obiegu zamkniętym	1179
XV.2. Założenia i zasady czwartej rewolucji przemysłowej (Przemysł 4.0)	1188

XV.2.1. Ogólna charakterystyka Przemysłu 4.0, zakładane efekty i korzyści	1188
XV.2.1.1. Przemysłowy Internet Rzeczy (IIoT)	1190
XV.2.1.2. Inteligentna fabryka	1190
XV.2.2. Wymagania stawiane zasobom „Fabryki 4.0”	1191
XV.2.2.1. Standardy zasobów produkcyjnych i sterowania stabilnością procesową	1192
XV.2.2.2. Systemy zarządzania zasobami	1192
XV.2.2.3. Rozwój kapitału ludzkiego	1193
XV.2.3. Efekty i korzyści oraz bariery wdrażania Przemysłu 4.0	1194
XV.2.4. Jak wdrażać zasady Przemysłu 4.0 do produkcji?	1196
XV.2.5. Podsumowanie	1199
XV.3. Charakterystyka zasobów produkcyjnych i ocena gotowości do wdrażania zasad Odlewni 4.0	1200
XV.3.1. Stan aktualny branży przed czwartą rewolucją przemysłową	1200
XV.3.2. Podstawy (filary) Odlewnictwa 4.0	1201
XV.3.3. Strategie wdrożenia zasad Przemysłu 4.0 w branży odlewniczej	1203
XV.4. Zasoby produkcyjne odlewni w standardzie Przemysłu 4.0	1204
XV.4.1. Branżowe rozwiązania procesowe w standardzie Przemysłu 4.0	1204
XV.4.1.1. Technologie wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości (<i>Augmented Reality</i>)	1204
XV.4.1.2. Szybkie prototypowanie (<i>Rapid Prototyping</i>), technologie wytwarzania przyrostowego (<i>Additive Manufacturing</i>)	1204
XV.4.1.3. Systemy analizy termicznej	1207
XV.4.1.3.1. Moduł optymalizacji sferoidyzowania żeliwa – <i>Ductile Iron Optimizer Module</i>	1207
XV.4.1.3.2. Modyfikacja dynamiczna – <i>Dynamical Inoculation Module</i>	1208
XV.4.1.3.3. Moduł Perlit – <i>Pearlite Module</i>	1209
XV.4.1.3.4. Opinie użytkowników systemu ATAS	1210
XV.4.2. Operacyjne rozwiązania procesu odlewniczego 4.0	1211
XV.4.2.1. Molding Sand 4.0, system Michenfelder Elektrotechnik GmbH & Co. KG	1211
XV.4.2.2. Automatyczne systemy zalewania – pour-tech AB	1213
XV.4.2.3. System ITACA – Topienie, obróbka pozapieczowa, zalewanie	1218
XV.4.2.3.1. System ITACA – Topienie	1218
XV.4.2.3.2. Transport ciekłego stopu i obróbka pozapieczowa	1220
XV.4.2.3.3. Proces zalewania: całkowita kontrola żeliwa końcowego	1223
XV.4.3. Informatyczne platformy odlewnicze – Foundry 4.0	1229
XV.4.3.1. Monitizer DISA®	1229
XV.4.3.1.1. Funkcjonalność systemu Monitizer DISA®	1229
XV.4.3.1.2. Monitizer® DISCOVER	1232
XV.4.3.1.3. Monitizer® CIM (<i>Computer Integrated Manufacturing</i>)	1233
XV.4.3.1.4. Monitizer® GLOBAL	1234
XV.4.3.1.5. Monitizer® PRESCRIBE	1235
XV.4.3.1.6. Monitizer Digital Lab	1235
XV.4.3.1.7. Monitizer® DETECT – konserwacja nakazowa	1236
XV.4.3.2. enVision Process Visibility (eVPS) Sinto America	1236
XV.4.3.2.1. System enVision Process Visibility (eVPS)	1237
XV.4.3.2.2. System Zdalnego Monitorowania (<i>Remote Monitoring Systems</i>)	1240
XV.5. Przykłady wdrażania Przemysłu 4.0 do odlewni	1249
XV.5.1. „Casper 4.0”. Filary wspierające cyfrową przyszłość	1249
XV.5.2. Kurtz Ers Smart Foundry	1249
XV.5.3. System ePVS SINTO America w odlewniach	1250
XV.5.4. Wdrożenia systemu Monitizer	1252
XV.5.4.1. Condals Hiszpania	1253
XV.5.4.2. Morikawa – Japonia	1254
XV.5.4.3. Shanxi Huaxiang Group – Chiny	1255
<i>Leksykon pojęć stosowanych w Przemysle 4.0</i>	1258
XV.6. Zastosowanie sztucznej inteligencji w odlewnictwie	1262
XV.6.1. Wprowadzenie	1262
XV.6.2. Sztuczna inteligencja	1262
XV.6.2.1. Podział sztucznej inteligencji	1262
XV.6.2.1.1. Uczenie nadzorowane	1263
XV.6.2.1.2. Uczenie nienadzorowane	1263
XV.6.2.1.3. Uczenie przez wzmacnianie	1264
XV.6.3. Zastosowanie uczenia maszynowego i uczenia głębokiego	1264
XV.6.3.1. Proces uczenia maszynowego	1265
XV.6.3.2. Proces uczenia głębokiego	1276
Wybrane słowa kluczowe dla poszczególnych rozdziałów	1279