

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. Sypkie masy samoutwardzalne ze spoiwami organicznymi utwardzane na zimno	125
III.3.1.1. Sypkie masy samoutwardzalne z żywicami furfuryłowymi	125
III.3.1.2. Sypkie masy samoutwardzalne z żywicą fenolową utwardzaną estrami (proces alphaset)	126
III.3.1.3. Sypkie masy samoutwardzalne ze spoiwem uretanowym	127
III.3.1.4. Sypkie masy samoutwardzalne z żywicą alkidową	128
III.3.2. Sypkie 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. Sypkie masy szybkowiążące 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 naboju	373
V.3.1.1. Współczynnik ewakuacji masy z komory naboju maszyny dmuchowej	375
V.3.1.2. Graniczna objętość rdzenia w stosunku do pojemności komory naboju	375
V.3.2. Charakterystyczne fazy procesu zapelniania 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 naboju	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 pozorną, 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 zagęszczonej 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 zapelniania oraz zagęszczania masy metodami dmuchowymi	392
V.4.5.1. Uniwersalne stanowisko laboratoryjne do badania zapelniania 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 zapelniania 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. Rozwiązania 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 odlewanej 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 antygravitacyjne (przeciwgravitacyjne)	519
VI.2.2.7.4. Odlewanie pod niskim ciśnieniem z przeciwcisnieniem	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 jednownękowe	554
VI.2.3.4.2. Formy wielownękowe	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 (<i>Cooling Slope System</i>)	628
VI.2.3.9.8.2.3. Szybkie przechłodzenie do zakresu ciekło-stałego (<i>NRC New Rheocasting</i>)	628
VI.2.3.9.8.2.4. Formowanie natryskowe (<i>Spray Forming</i>)	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 rekrytalizacji	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 półciągle i ciągle	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 ocierne, grawitacyjne	709
VII.5.1.2. Oczyszczanie ocierne, 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 łopatki 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 kąpeli 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. Pomiar. 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 – WPŁYW 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 pozapiecowa, zalewanie	1218
XV.4.2.3.1. System ITACA – Topienie	1218
XV.4.2.3.2. Transport ciekłego stopu i obróbka pozapiecowa	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 Ersä 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

I. Oprzyrządowanie, narzędzia i galanteria do wykonania form

Łukasz Jamrozowicz, Jerzy S. Zych

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

I.1. Klasyfikacja i normalizacja skrzynek formierskich

Skrzynki formierskie klasyfikuje się względem poniższych kryteriów [1, 2]:

- 1) konstrukcji,
- 2) kształtu,
- 3) pojemności,
- 4) materiału.

Ze względu na „konstrukcję” skrzyńki wyróżnia się [1, 2]:

- 1) odlewane w całości – **OC**,
- 2) odlewane składane – **OS**,
- 3) spawane ze stali profilowej giętej – **G**,
- 4) spawane ze stali profilowej walcowanej – **W**,
- 5) usuwalne – **U**.

W zależności od „kształtu” skrzyńki dzieli się na [1, 2]:

- 1) prostokątne – **p**,
- 2) okrągłe – **o**,
- 3) o kształtach specjalnych – **s**.

Ze względu na „pojemność” skrzyńki dzieli się na [1, 2]:

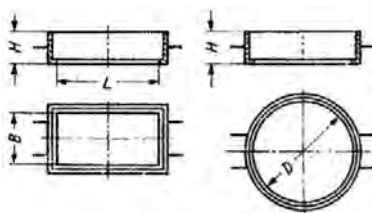
- 1) małe ręczne (do 14 dm³) – **I**,
- 2) duże ręczne (15 – 50 dm³) – **II**,
- 3) małe dźwigniowe (51 – 150 dm³) – **III**,
- 4) duże dźwigniowe (powyżej 151 dm³) – **IV**.

W zależności od „materiału” z jakiego wykonuje się skrzyńki formierskie dzieli się je na [2]:

- 1) żeliwne – z dowolnej klasy żeliwa szarego,
- 2) stalowe – z dowolnego gatunku staliwa węglowego,
- 3) ze stopów aluminium lub magnezu,
- 4) ze stali profilowej.

W płaszczyźnie podziału formy, jako główne wymiary skrzynek formierskich przyjmuje się (rys. I.1.1):

- L – długość w świetle, mm,
B – szerokość w świetle, mm,
H – wysokość, mm,
D – średnicę w świetle, mm.



Rys. I.1.1. Wymiarowanie skrzynek formierskich [1, 6]

II. Wykonywanie modeli i rdzennic

Jerzy S. Zych¹, Marcin Waksmundzki², Łukasz Jamrozowicz¹

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

² MTM Modele Sp. z o.o., Bodzanów 474, 32-020 Wieliczka

Do wykonania formy odlewniczej jednorazowej lub półtrwałej jest niezbędny komplet przyrządów specjalnych zwanych oprzyrządowaniem modelowym lub zespołem modelowym. Zespół elementów oprzyrządowania modelowego określa norma BN – 76/4042 – 23. W praktyce, zależnie od stosowanej technologii konkretnego odlewu, konieczne są tylko niektóre spośród nich. Zasadnicze elementy to: model, rdzennica i płyta modelowa. Elementy oprzyrządowania modelowego mogą być wytworzone z wielu materiałów. Z punktu widzenia rodzaju materiału zespoły modelowe i ich elementy można podzielić na: drewniane, metalowe, ceramiczne, z tworzyw sztucznych lub jeszcze innego materiału. Materiałem najczęściej stosowanym na zespoły modelowe jest drewno i jego pochodne, przy jego udziale wytwarza się największy tonaż odlewów. W technologiach wykorzystujących masy klasyczne i formowanie maszynowe najczęściej materiałami na modele i rdzennice odlewnicze są: tworzywa sztuczne i stopy metali – silumin, żeliwo, mosiądze. W tabeli II.1 przedstawiono zastosowanie materiałów modelarskich w zależności od sposobu utwardzania/zagęszczania masy w formie/rdzennicy. W technologiach odlewniczych pojawiają się nowe materiały na modele i rdzennice szczególnie w obszarze tworzyw sztucznych (żywicy) jak i nowe rodzaje mas formierskich i rdzeniowych. Zestawienie przedstawione w tabeli II.1 ma jedynie charakter ramowy i pokazuje ograniczenia, co do przeznaczenia poszczególnych rodzajów materiałów.

Tabela II.1. Zalecane materiały modelarskie przy zastosowaniu różnych metod utwardzania/zagęszczania masy w formie/rdzennicy

Materiał	Sposób utwardzania/zagęszczania masy w formie/rdzennicy							
	Mechaniczny			Fizyczny		Chemiczny		
	ręcznie	maszynowo	pod wysokim naciskiem	próżniowo	magnetycznie	gazami	na gorąco	na zimno
Drewno naturalne	+	+	–	+	–	+	–	+
Drewno-pochodne	+	+		+	–	+	–	+
Stal		+	+	+	–	+	+	+
Żeliwo		+	+	+	–	+	+	+
Stopu Cu		+	+		–	+		+
Stopy Al	+	+		+	–	+		+
Żywice	+	+		+	–	+	–	+
Twardy PCW	+	+		+	–	+	–	+
Styropian	+	–	–	–	+		–	
Gips	+	+			–	+	–	

Uwaga: brak znaku nie wyklucza możliwości stosowania danego materiału

II.1. Modele i zespoły modelowe z drewna

Drewno jest nadal głównym materiałem do wyrobu modeli i rdzennic przeznaczonych do produkcji jednostkowej i małoseryjnej oraz wytwarzania masywnych i wielkogabarytowych odlewów. Wynika to z szeregu zalet drewna, jak łatwość obróbki ręcznej i mechanicznej, łatwego łączenia elementów na drodze klejenie również z innymi materiałami, małego ciężaru właściwego, dostatecznej wytrzymałości na zginanie, ściskanie i rozciąganie wzdłuż włókien oraz niski koszt. Obok tych zalet drewno jako materiał ma również i wady, jak niejednolita, anizotropowa struktura, skłonność do zmiany wilgoci (zsuchanie się i pęcznienie), paczzenie się, pęknięcie i psucie się (butwienie i gnicie itp.).

II.1.1. Budowa drewna

Drewno jako materiał konstrukcyjny pozyskiwane jest z pnia drzewa. Pień drzewa składa się z rdzenia, drewna oraz kory. Miazga twórcza, która znajduje się bezpośrednio pod korą, posiada zdolność do podziału oraz wzrostu. Komórki drewna wraz ze swoim wzrostem odkładają się do wnętrza pnia tworząc słoje. Słoje roczne składają się z dwóch

III. Technologia wytwarzania różnych rodzajów masy formierskiej

Jadwiga Kamińska

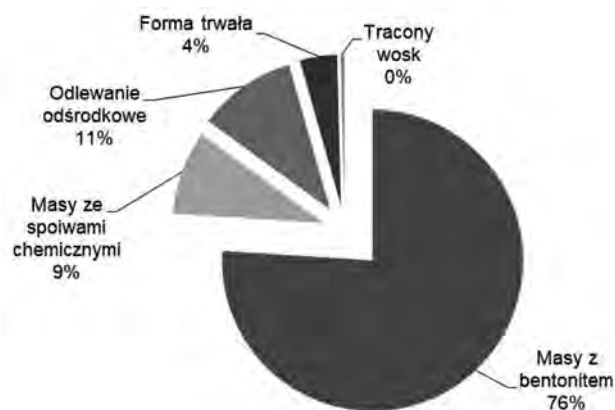
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Krakowski Instytut Technologiczny, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków

Wiele jest rodzajów mas i technologii ich sporządzania stosowanych w produkcji odlewów (rys. III.1). Różnią się one przede wszystkim składem i charakterem chemicznym materiału wiążącego (masy z lepiszczem, masy ze spoiwami organicznymi, masy ze spoiwami nieorganicznymi) oraz sposobem i temperaturą wiązania (utwardzane w temperaturze otoczenia, wiążące w podwyższonej temperaturze, wiążące przez odwodnienie).



Rys. III.1. Podział mas według składu i sposobu wiązania [1]

Najważniejszym składnikiem mas formierskich i rdzeniowych jest osnowa piaskowa; najczęściej piasek kwarcowy, a w szczególnych przypadkach piasek cyrkonowy, chromitowy, oliwinowy, magnezytowy i inne. Oprócz wymienionych piasków naturalnych w odlewnictwie stosowane są również piaski syntetyczne. Są to piaski na bazie glinokrzemianów, sztucznie wytworzone o ostrych krawędziach i dobrych właściwościach użytkowych dla odlewnictwa. Charakteryzują się one niską zdolnością absorpcji. Podczas produkcji następuje segregacja poszczególnych frakcji dzięki czemu piaski te pozbawione są udziału frakcji pylistych. Piaski syntetyczne mogą być stosowane samodzielnie, jako potencjalne źródło zastąpienia piasku chromitowego, lub kombinacji np. z piaskiem kwarcowym. Charakterystykę osnowy piaskowej stosowanej do sporządzania mas omówiono szczegółowo w Poradniku Odlewnika, tom I, w rozdziale VI [2].



Rys. III.2. Udział technologii formy w produkcji odlewów na świecie [3]

Wybór masy formierskiej i/lub rdzeniowej zależy od wielu czynników, w tym do najważniejszych można zaliczyć: rodzaj odlewanej stali, wielkość odlewu, wymagana jakość odlewu, wielkość produkcji, a także – w świetle aktualnych regulacji prawnych – szkodliwość mas. Zasady doboru mas formierskich i rdzeniowych zostały przedstawione w Poradniku Odlewnika, tom I, w rozdziale VI [2].

IV. Procesy i zmechanizowane systemy wytwarzania odlewów w formach piaskowych

IV.1. Charakterystyka technologii wytwarzania form nietrwałych

Aleksander Fedoryszyn

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

Odlewy są produktem uzyskanym przez wypełnienie formy odlewniczej ciekłym stopem odlewniczym. Forma natomiast to zespół elementów, które po złożeniu tworzą wnękę o kształcie odpowiadającym kształtowi odlewu. Wnękę odtwarza w procesie formowania model trwały lub nietrwały, zgazowany lub wytapiany [1].

Klasyfikacja form ze względu na krotność użycia wyróżnia formy nietrwałe, jednorazowe (przeznaczone do jednokrotnego użycia), półtrwałe (przeznaczone do parokrotnego użycia) oraz trwałe (przeznaczone do wielokrotnego użycia).

Ze względu na rodzaj tworzywa wyróżnia się formy piaskowe, metalowe oraz z innych tworzyw (np. grafitowe, gumowe).

Formy piaskowe, jednorazowe klasyfikuje się w zależności od: sposobu wykonania formy, jej suszenia lub utwardzania, zastosowanego oprzyrządowania modelowego oraz mechanizacji formowania [1÷19].

Ze względu na sposób wykonania rozróżnia się:

- 1) formy w skrzynkach formierskich,
- 2) formy bezskrzynkowe; w skrzynkach usuwalnych,
- 3) formy w gruncie, otwarte i zamknięte,
- 4) formy w rdzeniach.

Ze względu na tworzywo form i czynniki wiążące wyróżnia się formy jednorazowe:

- 1) z masy klasycznej, głównie z masy syntetycznej z bentonitem; stosowane są formy wilgotne i suszone do odlewania zarówno stopów żelaza jak i metali nieżelaznych; formy są mechanicznie zagęszczane,
- 2) z mas wiązanych chemicznie, których utwardzanie zachodzi w temperaturze otoczenia, z utwardzaniem czynnikiem gazowym, z utwardzaniem w wysokiej temperaturze,
- 3) z mas wiązanych czynnikami fizycznymi: podciśnienie, pole elektromagnetyczne, minusowa temperatura.

Formy wykonywane z masy syntetycznej mają największe zastosowanie w praktyce odlewniczej. Zastosowanie to jest uzasadnione przede wszystkim możliwością kierowania składem, a tym samym i właściwościami technologicznymi tych mas. Udział technologii z użyciem mas syntetycznych z bentonitem dominuje ze względu na znaczny postęp w zakresie mechanizacji i automatyzacji formowania [15]. Powszechne stosowanie mas syntetycznych z bentonitem, wynoszące w skali światowej do 80%, wynika z możliwości ponownego wykorzystania masy używanej w stopniu wynoszącym 95÷98% oraz małego zużycia świeżych materiałów formierskich (0,1÷0,6 tony/tonę gotowych odlewów). Możliwości otrzymywania odlewów z różnych tworzyw wykonywanych w formach piaskowych równomiernie zagęszczonych są niemal praktycznie nieograniczone; np. możliwe jest otrzymywanie super-cienkościennych odlewów o grubości ścianek w zakresie 1,2÷2,9 mm [1].

Zakres stosowania form piaskowych wilgotnych w zależności od wskaźników produkcji (seryjności, grupy wagowej, grubości ścianki), tworzywa odlewu (żeliwne, staliwne, stopów metali lekkich i metali ciężkich) oraz sposobu formowania (ręczne, maszynowe) przedstawiono w I tomie Poradnika Odlewnika, w tabeli VI.7.4 [1].

Do wykonywania form z mas syntetycznych (i ogólnie klasycznych) można stosować oprzyrządowanie modelowe drewniane (powleczone odpowiednimi lakierami), metalowe (ze stali, żeliwa szarego, stopów Al, brązu) lub z tworzyw sztucznych, żywic epoksydowych i poliuretanowych.

Formy z masy syntetycznej zagęszcza się wszystkimi, znanymi sposobami formowania ręcznego i maszynowego, poczynając od zagęszczania ubijakami, prasowania statycznego i dynamicznego, w tym zagęszczania strumieniem powietrza realizowanego przez formierki strumieniowe. Formierki strumieniowe obejmują maszyny realizujące proces powietrzno-filtracyjny (proces *Seiatsu*), powietrzno-impulsowy oraz podciśnieniowy z doprasowaniem.

Nowe sposoby zagęszczania strumieniowego i przy użyciu wysokiego nacisku, czy też stosowanie kombinowanych (łączonych) sposobów utrzymują wysoki poziom zastosowania mas syntetycznych, mimo wprowadzania nowych rodzajów mas.

V. Procesy i zmechanizowane systemy wytwarzania rdzeni odlewniczych

V.1. Ogólna charakterystyka technologiczna metod wykonywania rdzeni

Rafał Dańko, Józef Dańko

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

Rdzenie odlewnicze są integralnymi elementami składowymi form odlewniczych służącymi do odtworzenia w odlewie najczęściej jego wewnętrznych kształtów i kanałów z zapewnieniem mocowania rdzeni w formie (rdzenniki), gwarancji uzyskania określonych tolerancji wymiarowych a także struktury metaloznawczej odlewu. W przypadku gdy odlewy są w całości wykonywane w zestawach rdzeniowych (*core package*) niezależnie od rdzeni wewnętrznych odlewu stosowane są także rdzenie odwzorowujące zewnętrzne powierzchnie kształtowe oraz inne rdzenie ustalające montażowe, których zadaniem jest zapewnienie dokładności wymiarowej i trwałości połączeń podczas realizacji kolejnych operacji zalewania metalem i krzepnięcia odlewu.

W technologii form jednorazowych rdzenie wykonuje się z mas rdzeniowych, składających się z osnowy (piasku) oraz materiału wiążącego. Na osnowę stosuje się piaski spełniające określone normami wymagania, które dotyczą [1]:

- 1) składu mineralogicznego (piaski kwarcowe, chromitowe, oliwinowe, cyrkonowe, syntetyczne),
- 2) składu ziarnowego piasku (wielkość frakcja główna, zawartość zanieczyszczeń),
- 3) temperatury spiekania (odporność na działanie wysokiej temperatury metalu).

Jako spoiwa mogą być stosowane:

- 1) materiały naturalne lub uzyskiwane po przetworzeniu występujących w (montmorylonicie, kaolinie, illicie) glin, zwane lepiszczami,
- 2) materiały syntetyczne, zwane spoiwami, najczęściej o charakterze chemicznym, wytworzone w celu nadania im specyficznych zdolności łączenia ziaren osnowy i nadawania im wytrzymałości, wymaganej przez określoną technologię form.

Technologia rdzeni polega na realizacji zespołu czynności technologicznych obejmujących [2, 4]:

- 1) dobór materiałów rdzeniarskich (osnowa, materiał wiążący, materiał pokrycia rdzenia),
- 2) przygotowanie masy rdzeniowej, z wykorzystaniem odpowiednich mieszarek,
- 3) sporządzenie rdzeni, związane z wypełnieniem rdzennicy masą, zagęszczeniem i utwardzeniem masy stosowanym do natury stosowanego materiału wiążącego oraz naniesieniem pokrycia ochronnego na powierzchnię rdzenia.

Masom rdzeniowym stawia się większe wymagania technologiczne wytrzymałościowe w stosunku do analogicznych parametrów mas formierskich. Masa rdzeniowa powinna się charakteryzować [1, 4]:

- 1) wyższą odpornością na wstrząsy cieplne, będące jedną z przyczyn deformacji wymiarowych i kształtowych rdzeni obciążonych cieplnie i mechanicznie,
- 2) większą przepuszczalnością zapewniającą ukierunkowane odprowadzenia gazów generowanych z rozkładu spoiwa i pary wodnej w stronę rdzenników,
- 3) wyższą ognioodpornością zapewniającą odtwarzanym kształtom czystą i gładką powierzchnię,
- 4) dobrą podatnością kompensującą skutki skurczu w czasie krzepnięcia odlewu w celu uniknięcia lub zmniejszenia powstających w odlewach dużych naprężeń i pęknięć na gorąco,
- 5) lepszą wybijałnością ułatwiającą usuwanie przepalonych rdzeni z odlewów,
- 6) mniejszą higroskopijnością ograniczającą pochłanianie przez rdzenie wilgoci z otoczenia i/lub z formy odlewniczej.

V.1.1. Ogólna klasyfikacja rdzeni odlewniczych

Klasyfikacja ogólna uwzględnia wymienione dalej charakterystyczne cechy rdzeni, do których należą:

- 1) wielkość i masa rdzeni,
- 2) stopień skomplikowania kształtu,
- 3) przeznaczenie oraz miejsce w technologii formy i rdzenia.

Ze względu na wielkość i masę rdzenie dzieli się, na grupy i podgrupy zgodnie z tabelą V.1.1.

VI. Odlewanie do form trwałych

VI.1. Odlewanie kokilowe

Marcin Kondracki

Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice

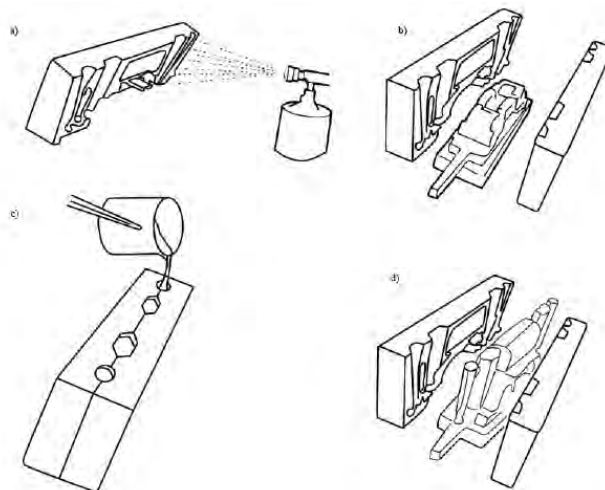
VI.1.1. Pojęcia podstawowe

VI.1.1.1. Charakterystyka odlewania kokilowego

Odlewanie kokilowe jest jednym z najważniejszych i najszerzej stosowanych procesów odlewania do form trwałych. Odlew kokilowy powstaje poprzez grawitacyjne zalewanie formy trwałej, najczęściej metalowej, tzw. kokili. W tej technologii ciekły metal wypełnia wnękę kokili wyłącznie pod wpływem swojego ciężaru. Wewnętrzne powierzchnie odlewu odtwarzane są przez rdzenie metalowe, w przypadku prostych cech geometrycznych lub rdzenie piaskowe, jeżeli kształt tych powierzchni jest skomplikowany. Trudno obecnie wskazać początek stosowania tego procesu, natomiast wykorzystanie form trwałych było znane już w starożytności. Techniczny rozkwit tej technologii należy datować na początek XX wieku, kiedy odlewanie kokilowe zaczęto wykorzystywać w produkcji na szeroką skalę [1, 2].

Odlewanie kokilowe należy postrzegać jako naturalne rozwinięcie procesu odlewania do form piaskowych, którego główną wadą była konieczność przygotowania formy dla każdego kolejnego odlewu, a przez to wydłużenie czasu produkcji, możliwy brak powtarzalności oraz niska produktywność. Postęp w zakresie automatycznych linii formierskich i odlewniczych wyeliminował oczywiście część wad tego procesu. Trwała forma pozwala jednak produkować większą liczbę odlewów w krótszym czasie, przy zapewnieniu wysokiej powtarzalności i dokładności wykonania. Wpływa to również na obniżenie naddatków technologicznych, lepszą strukturę odlewu, mniejszą liczbę braków. Wprowadzenie odlewania kokilowego wiąże się jednak z poniesieniem wyższych kosztów związanych z uruchomieniem produkcji, form, maszyn i urządzeń. W większości przypadków stosowanie odlewania kokilowego ma uzasadnienie tylko dla produkcji seryjnej lub masowej [2, 3].

Odlewanie kokilowe jest procesem, w którym niezwykle istotny jest ustabilizowany rytm oraz interwały pomiędzy kolejnymi operacjami. Wykonanie pojedynczego odlewu składa się z szeregu operacji; najważniejsze to naniesienie powłoki ochronnej, ustawienie rdzeni, złożenie formy, zalewanie, wyjęcie odlewu, schłodzenie formy (rys. VI.1.1). Następnie cykl powtarza się dla kolejnego odlewu.



Rys. VI.1.1. Najważniejsze operacje w uproszczonym cyklu produkcyjnym odlewania kokilowego; (a) naniesienie powłoki na podgrzane powierzchnie robocze kokili, (b) ustawienie rdzeni i złożenie formy, (c) zalewanie formy ciekłym metalem, (d) wybicie odlewu [3]

Kokile mogą być wykonane w różnych wariantach (rys. VI.1.2). W przypadku bardzo prostych odlewów stosuje się formy niedzielone – tzw. kokile wytrząsane lub kokile z rdzeniami. Najczęściej stosowane formy posiadają pojedynczą powierzchnię podziału. Formy takie mogą być składane i otwierane ręcznie, przy małych gabarytach odlewu. W przypadku odlewów średnich i dużych formy składane są mechanicznie w urządzeniach, które nazywa się kokilar-

VII. Oczyszczanie i obróbka wykańczająca odlewów

VII.1. Zakres i charakterystyka procesów technologicznych obróbki odlewów

Aleksander Fedoryszyn

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

Obróbka odlewów ma na celu nadawanie im ostatecznego kształtu, wyglądu, stanu powierzchni i innych właściwości, zgodnie ze specyfiką odbioru. Procesy technologiczne obróbki odlewów początkuje ich usuwanie z formy (wybijanie odlewów z form nietrwałych oraz wypychanie lub wyciąganie odlewów z form trwałych). W dalszej kolejności są realizowane procesy oczyszczania oraz wykańczania. Zakres procesów technologicznych, oczyszczania i wykańczania odlewów, przedstawiono na rysunku VII.1 [1÷6]. Całość uzupełniają kontrole międzyoperacyjne i końcowe.



Rys. VII.1.1. Procesy obróbki końcowej odlewów; opracowanie własne, na podstawie literatury [1÷8]

Wymienione operacje obróbki (rys. VII.1.1) są przypisywane do procesów oczyszczania lub obróbki wykańczającej w zależności od tworzywa i parametrów odlewów oraz technologii ich wytwarzania. Dotyczy to również kolejności ich realizacji. Usuwanie odlewów z formy powinno być realizowane w określonym zakresie temperatur [1÷8]. Zlecany przedział temperatur usuwania odlewów z formy zależy od tworzywa odlewu, jego stopnia skomplikowania oraz rodzaju formy. Wybijanie rdzeni piaskowych ma miejsce podczas wybijania odlewów na kratkach oraz w bębnach obrotowych i wibracyjnych. Stosowane są również specjalistyczne urządzenia wibracyjne. Usuwanie rdzeni piaskowych z odlewów jest realizowane z użyciem strumienia wody oraz strumienia ścierniwa, np. śrutu. Rdzenie metalowe, ruchome w kokilach są usuwane przy użyciu wyciągaczy [5]. Rdzenie metalowe stosuje się zwykle przy odlewaniu stopów nieżelaznych. Przy odlewaniu żeliwa i staliwa stosuje się najczęściej rdzenie piaskowe. Stosowanie tych ostatnich jest często konieczne z powodów technologicznych, np. kształtu wnęki [4]. Po oddzieleniu odlewów od formy ma miejsce usuwanie układu zasilającego: układu wlewowego oraz nadlewów.

Operacje usuwania elementów układu wlewowego i zasilającego to odłamywanie (odtrącanie), realizowane w sposób ręczny, mechaniczny lub zachodzący samorzutnie, podczas oczyszczania odlewów w bębnach obrotowych i wibracyjnych, a ponadto odcinanie (usuwanie przez cięcie, przecinanie). Operacje oczyszczania odlewów z form nietrwałych rozpoczynają się już podczas ich oddzielania od masy formierskiej.

Wstępne oczyszczanie przebiega podczas wybijania na kratkach wibracyjnych wraz z oddzielaniem układu wlewowego oraz wybijaniem rdzeni, w bębnach obrotowych i wibracyjnych. Oczyszczaniu powierzchni odlewów sprzyja wprowadzenie czystości w bębnach obrotowych. Oczyszczanie wstępne zachodzi również podczas wybijania strumieniem wody, usuwania z powierzchni odlewów masy z form piaskowych i skorupowych.

Oczyszczanie zasadnicze ma na celu usunięcie z powierzchni odlewów wszystkich niemetalicznych zanieczyszczeń, jak resztki masy formierskiej i rdzeniowej, zgorzelina, tłuszcze itp.

Oczyszczanie odlewów to proces realizowany mechanicznie, fizykochemicznie oraz w sposób specjalny.

Usuwanie nadmiaru metalu z odlewów ma na celu uzyskanie wymaganego ich kształtu i wymiarów. Po usunięciu układu wlewowego i zasilającego, niwelowane są pozostałości po nich oraz usuwane zalewki i nierówności powierzchni, a także obróbka skrawaniem (skórowanie, obróbka baz).

VIII. Wady odlewów i ich naprawa

Jerzy S. Zych

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

VIII.1. Klasyfikacja wad

Wadą odlewu nazywa się każde odchylenie wymiarów, kształtu, powierzchni, wyglądu zewnętrznego, naruszenie ciągłości materiału, nieprawidłowość struktury wewnętrznej odlewu oraz właściwości mechanicznych lub fizykochemicznych od obowiązujących wymagań [1, 3, 12, 57]. Norma PN – 85/H-83105 – Odlewy – Podział i terminologia wad, wycofana z dniem 05.12.2011, porządkuje nazewnictwo wad i klasyfikuje je w grupy oraz nadaje im odpowiednie oznaczenia.

Klasyfikacja wad odlewów, stanowiąca uporządkowany układ wad odlewniczych ma istotne znaczenie w produkcji odlewów, gdyż ułatwia podejmowanie trafnych decyzji, których celem jest przeciwdziałanie powstawania braków. Produkcja odlewów bez pewnej ilości odlewów wadliwych nie jest praktycznie możliwa. Za dopuszczalną ilość przyjmując się 2,0÷4,0% wadliwych odlewów, z wadami ujawnionymi w stanie surowym [1]. Po obróbce mechanicznej ilość wadliwych odlewów zwiększa się, nie powinna jednak przekraczać 6,0%. W produkcji seryjnej i wielkoseryjnej ilość braków powinna być odpowiednio mniejsza z uwagi na możliwość lepszego dopracowania wszystkich elementów technologii.

Przedmiotem dotychczas obowiązującej normy PN – 85/H – 83105 – „Odlewy – Podział i terminologia wad” był podział i terminologia wad odlewów z żeliwa, staliwa i stopów metali nieżelaznych. Postanowienia normy są stosowane w normach przedmiotowych, warunkach technicznego odbioru, w literaturze naukowo technicznej oraz innej dokumentacji technicznej dotyczącej odlewów. Norma dzieli te wady na cztery grupy w sekwencji ich wykrywania w procesie technologicznym (grupa 1 – wady kształtu, 2 – wady powierzchni surowej, 3 – przerwy ciągłości, 4 – wady wewnętrzne). W tabeli VIII.1.1 podano nazwy i klasyfikację wad. Kolejność grup jest zbieżna z kolejnością postępowania przy odbiorze odlewów przez zespoły kontroli jakości. W pierwszej kolejności identyfikuje się wady kształtu, następnie wady powierzchni surowej i przerwy ciągłości. Wady ostatniej grupy wykrywa się w trakcie wstępnej obróbki mechanicznej lub w czasie badań nieniszczących. Podział taki jest korzystny przy doborze racjonalnych metod służących do ujawniania wad.

Tabela VIII.1.1. Klasyfikacja wad odlewniczych

Grupa	Nazwa	Oznaczenie
1	2	3
Wady kształtu	Uszkodzenie mechaniczne	W-101
	Niedolew	W-102
	Guz	W-103
	Zalewka	W-104
	Przestawienie	W-105
	Wypchnięcie	W-106
	Wypaczenie	W-107
Wady powierzchni surowej	Chropowatość	W-201
	Pęcherz zewnętrzny	W-202
	Kornik	W-203
	Ospowatość	W-204
	Nakłucia	W-205
	Obciągnięcia	W-206
	Fałda	W-207
	Strup	W-208
	Blizna	W-209
	Rakowatość	W-210
	Wgniecenie	W-211

IX. Procesy wspomaganie produkcji odlewów

IX.1. Komputerowe wspomaganie produkcji odlewów

Paweł Popielarski

Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Mechanicznej, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań

IX.1.1. Wprowadzenie

Odlewnictwo metali i stopów jest metodą produkcji wyrobów, dającą szerokie możliwości ich geometrycznego kształtowania i jednoczesnego oddziaływania na ich lokalne cechy użytkowe, niemożliwe do uzyskania w tym zakresie (na przekrojach ścian wyrobów) za pomocą innych technologii przetwarzania materiałów. Sterowanie strukturą, a więc także cechami użytkowymi odlewów, w szczególności właściwościami mechanicznymi, jest możliwe dzięki synergicznym powiązaniom wiedzy teoretycznej i stosowanej o procesach metalurgicznych i o różnych technologiach odlewania.

W trakcie i po wprowadzeniu stopu do wnęki formy, następuje szereg intensywnych procesów fizyko-chemicznych wzajemnego oddziaływania w układzie odlew-forma. Uważa się, że zdecydowana większość problemów i wad odlewniczych ma miejsce w związku z okresem wypełniania wnęki formy. Jednocześnie jednak powstają szerokie możliwości sterowania procesem krzepnięcia i stygnięcia odlewu, według klasycznych procedur przewidzianych w projekcie koncepcji odlewania, możliwych do zastosowania dla danego stopu, dla danych technologii i w funkcji oczekiwanych cech użytkowych wynikających z przeznaczenia odlewu.

W klasycznym podejściu do projektowania technologii, wykonanie odlewu o dobrej (założonej przez konstruktora/użytkownika) jakości, z możliwie najmniejszą ilością wad (poniżej progu tzw. wad dopuszczalnych), zgodnie z typową procedurą, wymaga wykonania odlewów próbnych. Odlewy te wykonywane są w celu sprawdzenia na drodze badań kontrolnych skuteczności opracowanej technologii.

Wykonanie odlewów próbnych, w przypadku założonej korekty technologii odlewania, zwiększa koszt przygotowania produkcji i znacznie wpływa na czas uzyskania pierwszych odlewów przeznaczonych do sprzedaży, który ma szczególne znaczenie w odniesieniu do odlewów prototypowych. Dlatego racjonalną procedurą optymalizacyjną projektowania technologii odlewania, stało się wykorzystanie systemów komputerowych wspomagających ten proces.

Końcówce dziesięciolecia XX wieku to okres coraz szybszego rozwoju szeroko pojętych technik informatycznych. Komputery stały się podstawowym narzędziem w różnych dziedzinach życia gospodarczego i codziennego, znajdując również szerokie zastosowanie w odlewnictwie. Jeszcze w latach osiemdziesiątych XX wieku do odlewni wprowadzono proste programy komputerowe wspomagające obliczenia technologiczne oparte o modele klasyczne o podłożu empirycznym. Programy te wykorzystywano do szybkiego, wynikającego ze znanych zasad, doboru konfiguracji i wymiarów układów wlewowych oraz do uproszczonego obliczania tzw. ścieżek kierunkowego zasilania i obliczania wielkości nadlewów. Pojawiały się też próby komputerowego symulowania krzepnięcia w układzie 2D, a nawet w 3D, oparte o proste zależności empiryczne, np. formułę Chvorinova.

Kolejną równolegle rozwijaną grupę programów stanowiły aplikacje ułatwiające tworzenie rysunkowej dokumentacji technicznej. Za pomocą takich programów jak np. AutoCAD opracowywano dokumentację koncepcji odlewania i rysunki wykonawcze oprzyrządowania modelowego i na tym kończyła się ich aplikacja w projektowaniu.

Wraz z rozwojem mikroelektroniki i ze wzrostem mocy obliczeniowej komputerów w latach 90-tych XX wieku do przemysłu budowy maszyn stopniowo wprowadzano systemy CAD/CAM w obszarze obróbki skrawaniem oraz programy CAD/CAE wspomagające działania projektowe na drodze symulacji procesów. Stosowanie w odlewniach systemów wykorzystujących geometryczne modele bryłowe nieuchronnie stwarzało w obszarze odlewnictwa warunki do stosowania przez technologów pełnej wirtualizacji procesu odlewania.

Dalszy znaczący wzrost mocy obliczeniowej komputerów sprzyjał powstawaniu i proponowaniu w ramach tzw. up-grade'ów nowych modułów, poszerzeń systemów z grupy CAE, w których stopniowo wykorzystywano algorytmy oparte o kolejne modele fizycznych zjawisk procesów (tzw. modelowanie twarde – *hard modelling*, opisywane równaniami różniczkowymi i modelowanie miękkie – *soft modelling*, wykorzystujące formuły empiryczne), co zbliżyło do odtworzenia coraz większej ilości zjawisk towarzyszących odlewaniu. Zaczęto wprowadzać coraz bardziej zaawansowane kody symulacyjne MagmaSOFT, ProCAST, NovaFlow&Solid, QuickCAST, Simtec, Calcosoft, Vulcan i inne, a w nich coraz bardziej złożone algorytmy rozwiązań numerycznych z wykorzystaniem metod FDM (różnic skończonych) lub FEM (elementów skończonych). Dokonywało się stopniowo przechodzenie od klasycznego „papierowego” projektowania technologii odlewania do aktualnie znacznie częściej realizowanego projektowania technologii odlewania wspomaganego komputerowo i stało się to obowiązującym w odlewnictwie standardem.

X. Zintegrowane systemy zarządzania

X.1. Integracja systemów zarządzania

Aleksander Fedoryszyn

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

Zintegrowane systemy zarządzania (ZSZ), obejmujące przede wszystkim systemy zarządzania jakością, zarządzania środowiskowego oraz zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy; stanowią podstawę działalności każdej organizacji (przedsiębiorstw i urzędów) [1÷3].

Procedury zarządzania charakteryzują odpowiednie normy. Postępowanie zgodne z normami prowadzi do uzyskania optymalnego stopnia uporządkowania działań.

Omawiane systemy to: zarządzanie jakością wg norm ISO serii 9000, zarządzanie środowiskowe wg norm ISO serii 14000, zarządzanie bezpieczeństwem i higieną pracy wg norm serii ISO 45000.

Wymienione systemy zarządzania wzajemnie się przenikają, posiadając wspólne elementy.

Wprowadzenie tych systemów do organizacji wraz z normami dotyczącymi m.in. efektywności energetycznej (PN-EN ISO 50001), bezpieczeństwa informacji (PN-ISO/IEC 27001) wraz z normą uzupełniającą (ISO 22301-system zarządzania ciągłością działania) powstaje zintegrowany, kompleksowy system zarządzania.

Integracja systemów ma miejsce również w innych obszarach działalności organizacji. Opracowano przykładowo zintegrowane, informatyczne systemy zarządzania [4]. W przywołanej publikacji udostępniono usystematyzowane, wsparte wieloma studiami przypadków, kompendium wiedzy z zakresu teorii i praktyki zintegrowanych, informatycznych systemów zarządzania.

Ze względu na coraz większą liczbę norm dotyczących systemów zarządzania i coraz powszechniejsze stosowanie w organizacjach różnych norm systemów zarządzania, zaistniała potrzeba ułatwienia wdrażania systemów i ich integracji. Z tego powodu Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna ISO określiła dla wszystkich, podstawowych norm systemów zarządzania, nową strukturę.

Aktualizacja norm dotyczących systemów zarządzania miała miejsce od 2015 roku, kiedy to wprowadzono jednolitą strukturę nowych i nowelizowanych norm systemów zarządzania oraz wspólny podstawowy tekst, podstawowe terminy i definicje oraz tytuły podrozdziałów.

W Dyrektywach ISO/IEC, Część 1, Skonsolidowany Suplement ISO, Załącznik SL, określono wspólną, jednolitą strukturę norm systemów zarządzania, która przedstawia się jak poniżej [2]:

1. Zakres normy.
2. Powołania normatywne.
3. Terminy i definicje.
4. Kontekst organizacji:
 - 4.1. Zrozumienie organizacji i jej kontekstu,
 - 4.2. Zrozumienie potrzeb i oczekiwań stron zainteresowanych,
 - 4.3. Określenie zakresu systemu zarządzania: jakością, środowiskowego lub bezpieczeństwem,
 - 4.4. System zarządzania: jakością, środowiskowego lub bezpieczeństwem.
5. Przywództwo:
 - 5.1. Przywództwo i zaangażowanie,
 - 5.2. Polityka,
 - 5.3. Rola, odpowiedzialność i uprawnienia w organizacji.
6. Planowanie:
 - 6.1. Działania mające na celu określenie ryzyka i możliwości,
 - 6.2. Cele systemu zarządzania i planowanie osiągnięcia celów.
7. Wsparcie:
 - 7.1. Zasoby,
 - 7.2. Kompetencje,
 - 7.3. Świadomość,
 - 7.4. Komunikacja,
 - 7.5. Udokumentowane informacje.
8. Działania operacyjne:
 - 8.1. Planowanie i nadzór nad działaniami operacyjnymi.

XI. Transport wewnętrzny w odlewni

Jan Jezierski, Krzysztof Janerka, Malwina Dojka

Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice

XI.1. Charakterystyka ogólna

Według Encyklopedii PWN transport (*łac. transportare – przenieść, przewieźć*) to „zespół czynności związanych z przemieszczaniem osób i dóbr materialnych za pomocą odpowiednich środków; obejmuje zarówno samo przemieszczanie z miejsca na miejsce, jak i wszelkie czynności konieczne do osiągnięcia tego celu, tj. czynności ładunkowe (załadunek, wyładunek, przeładunek) oraz czynności manipulacyjne (np. opłaty)” [1].

Sprowadzając zagadnienie do warunków technicznych zakładu przemysłowego, jakim jest odlewnia, powyższy opis można uprościć. Wówczas transport można rozumieć jako zespół czynności związanych z przemieszczaniem towarów, który współcześnie wsparty jest dedykowanymi systemami informatycznymi. Maszyny i urządzenia umożliwiające wykonywanie czynności transportowych noszą nazwę środków transportu. Ze względu na zasięg działania dzieli się je na środki transportu bliskiego i dalekiego. Transport bliski może być ograniczony przestrzennie do jednego stanowiska pracy, hali, magazynu, zakładu produkcyjnego lub centrum logistycznego. Transport daleki związany jest z przemieszczaniem ładunków pomiędzy odbiorcami. Może to być transport drogowy, kolejowy, morski lub lotniczy. Na końcu drogi transportu towar jest składowany i kompletowany w magazynach lub wykorzystywany bezpośrednio po jego dostarczeniu w obszar produkcji, montażu itp. zgodnie z filozofią JIT (*Just in Time*) [2].

W rozdziale przedstawiono zagadnienia związane z transportem bliskim w specyficznym zakładzie produkcyjnym, jakim jest odlewnia metali, a transport daleki wspomniano jedynie we fragmentach, przedstawiających klasyfikację transportu. Omówiono również zagadnienie mechanizacji, a także w niektórych przypadkach, automatyzacji transportu wewnętrznego, jako ważnego problemu wielu zakładów przemysłowych, w znacznym stopniu decydującego o organizacji produkcji oraz jej kosztach. Optymalizacja dróg transportowych oraz właściwy dobór urządzeń transportowych pozwalają bowiem znacznie obniżyć koszty wytwarzania. W przypadku produkcji odlewów, różnorodność, a także równoczesność realizacji procesów wytwarzania, przyczyniają się do specyficznej charakterystyki oraz szczególnej roli transportu wewnętrznego i jego mechanizacji. Można przyjąć, że w dużej, nowoczesnej odlewni wykorzystywane są niemal wszystkie, istotne systemy transportu bliskiego. Specyfika procesu wytwarzania odlewów wymaga bowiem przemieszczania dużej ilości różnorodnych materiałów, osprzętu, a w końcowej fazie odlewów – stąd mechanizacja transportu ma szczególnie istotne, jednak nie zawsze doceniane znaczenie [3].

Rozdział należy traktować jako przedstawienie ogólnego zarysu problematyki transportu w odlewniach, ponieważ jest ona tak złożona, że jest opisywana w dedykowanych publikacjach zwartych np. w [4]. Po ogólnych opisach najważniejszych systemów transportu podano kilka typowych przykładów ich zastosowania w odlewni. Dokładniej opisano natomiast przenośniki pneumatyczne, kontynuując w ten sposób tradycję wcześniejszych wydań Poradnika Odlewnika [5], w których opis tego szczególnego dla odlewni systemu transportu był znacząco rozwinięty.

XII. Gospodarka mediami (energia elektryczna, paliwa gazowe i woda) w odlewniach

Eugeniusz Ziółkowski

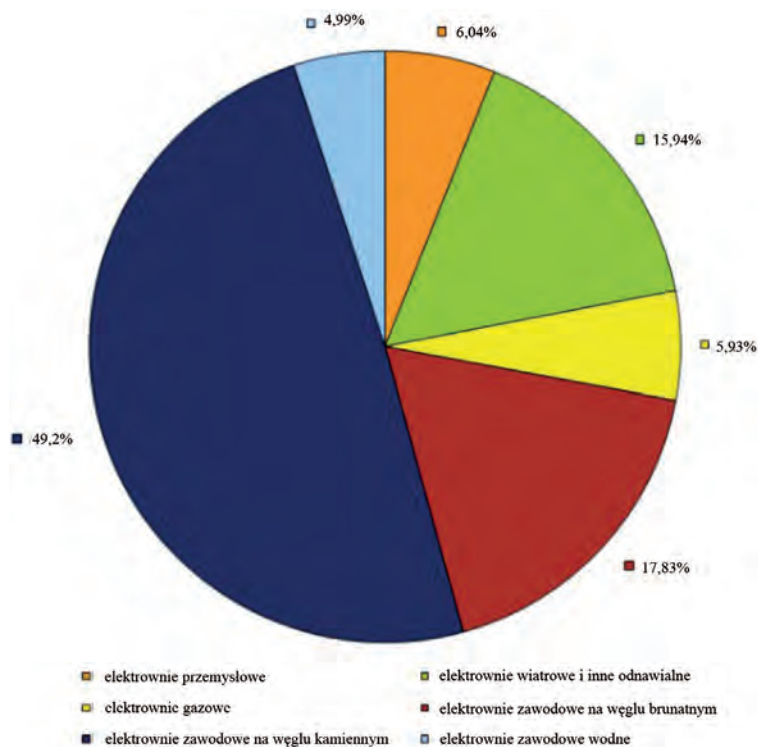
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

Produkcja przemysłowa odlewów stosuje różne technologie, wykorzystujące takie źródła zasilania jak: energia elektryczna, paliwa stałe, ciekłe i gazy techniczne (w tym opałowe). Umiejętne sterowanie zużyciem tych mediów ma kluczowe znaczenie w ekonomice funkcjonowania odlewni.

XII.1. Energia elektryczna

Na koszt zużycia energii elektrycznej składa się wiele elementów składowych, co przy uwzględnieniu znacznej energochłonności produkcji odlewów bazującej na maszynach i urządzeniach zasilanych z sieci elektroenergetycznej, wymusza podjęcie odpowiednich decyzji technologicznych, technicznych i organizacyjnych, pozwalających obniżyć kosztocłonność tej produkcji.

Energia elektryczna dostarczana do odbiorców indywidualnych i podmiotów gospodarczych jest produkowana w Polsce w elektrowniach przemysłowych, gazowych, opartych na węglu kamiennym lub brunatnym, a także w elektrowniach wodnych, wiatrowych i bazujących na innych źródłach energii odnawialnej (rys. XII.1.1).



Rys. XII.1.1. Struktura wytwarzania energii elektrycznej w Polsce (stan na 2019 rok) [1]

Udział grup kapitałowych w wolumenie energii elektrycznej wprowadzonej do sieci w 2019 roku (przy uwzględnieniu struktury podmiotowej według stanu na 31 grudnia 2019 rok) obejmuje zarówno energię elektryczną wytwarzaną przez polskie elektrownie, jak również importowaną z zagranicy (rys. XII.1.2).

Wolumen krajowej produkcji energii elektrycznej brutto w 2019 r. ukształtował się na niższym poziomie w stosunku do roku poprzedniego i wyniósł 158 767 GWh (spadek o 3,9% w porównaniu z 2018) [6]. W tym samym okresie krajowe zużycie energii elektrycznej brutto wyniosło 169 391 GWh i zmniejszyło się o 0,9% w porównaniu do 2018 roku. Tempo wzrostu krajowego zużycia energii elektrycznej było niższe (ujemne) niż tempo wzrostu PKB w 2019 roku, które według szacunków GUS wyniosło 4,0%.

XIII. Wpływ odlewni na środowisko i warunki pracy

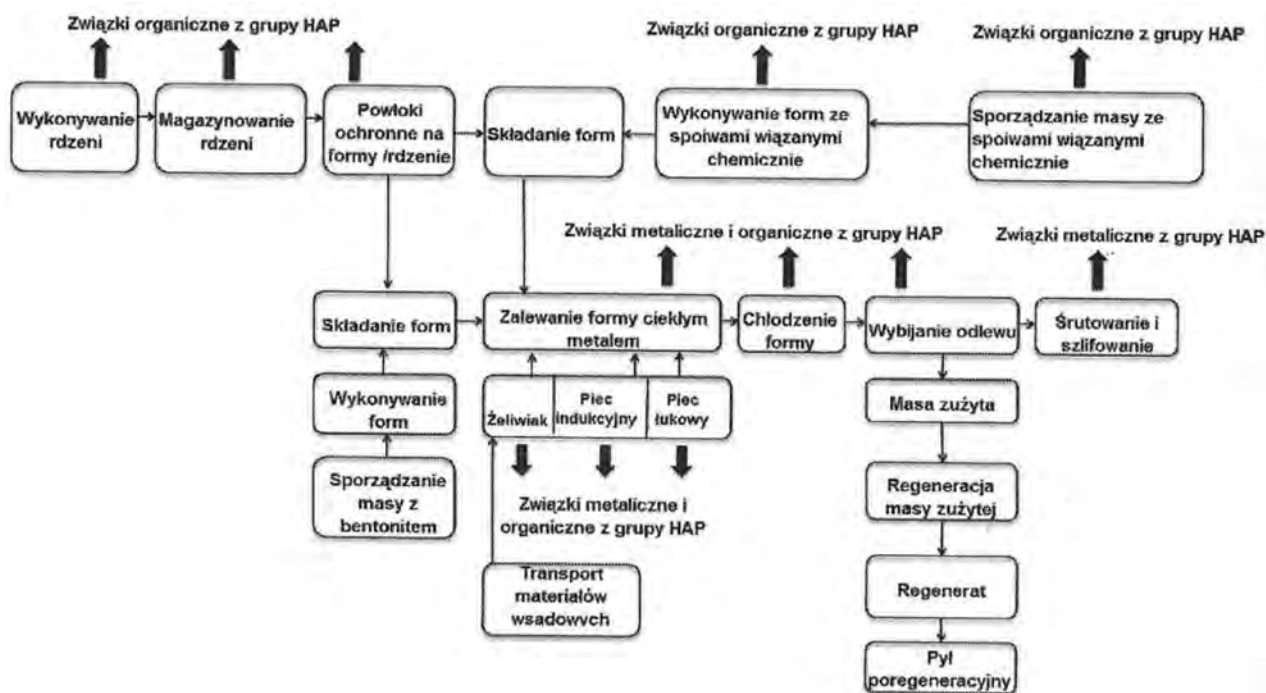
Mariusz Holtzer

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

XIII.1. Wpływ odlewni na środowisko

Pod pojęciem ochrona środowiska należy rozumieć wszystkie przedsięwzięcia, które zapewniają zarówno ochronę środowiska na stanowisku, jak i ochronę środowiska w obrębie całego zakładu pracy, często nawet poza zakładem [1]. Rozwój przemysłu oraz dążenie do zaspakajania materialnych potrzeb społeczeństwa doprowadziło do znacznej dewastacji środowiska, czego efektem jest m. in. zjawisko ocieplania się klimatu. Dopiero wprowadzenie w życie idei zrównoważonego rozwoju spowodowało ograniczenie tej dewastacji i oszczędzanie zasobów naturalnych¹. Wraz z rozwojem całej gospodarki rósł udział przemysł odlewniczego. Jednak mimo opracowywania nowych technologii opartych o bardziej ekologiczne materiały oraz szeroko stosowanego procesu recyklingu pozostaje jeszcze znaczna ilość niezagospodarowanych odpadów, w tym wiele odlewniczych.

Odlewnictwo należy do gałęzi przemysłu o zwiększonym ryzyku zawodowym i znacznym oddziaływaniu na środowisko. Podczas całego procesu produkcji odlewów pracownicy narażeni są na niebezpieczne i uciążliwe czynniki. W zakresie negatywnego oddziaływania na środowisko odlewnia generuje znaczne ilości odpadów stałych: zużyte masy formierskie i rdzeniowe oraz pyły z odpylania pieców do topienia i przetrzymywania ciekłego metalu oraz żużle. W odlewniach wykorzystujących żeliwiaki nie do pominięcia jest emisja gazów. Natomiast pracownicy narażeni są na czynniki szkodliwe takie jak: zmiana temperatury, promieniowanie, hałas, wibracje, pyły, gazy, zmiany wilgotności powietrza. Każdy z wymienionych czynników może negatywnie wpływać na zdrowie ludzkie, a również naruszać warunki środowiskowe w otoczeniu. Równoczesne oddziaływanie kilku szkodliwych czynników zwiększa zagrożenie. (rys. XIII.1.1).



Rys. XIII.1.1. Potencjalne źródła emisji niebezpiecznych substancji w procesie wykonywania odlewów [2]

Na poziomie zagrożeń dla środowiska można wyróżnić trzy komponenty: powietrze, woda i gleba. Często te same zanieczyszczenia są przyczyną skażenia dwóch, a nawet trzech elementów środowiska. Przy czym uważa się, że powie-

¹ Idea zrównoważonego rozwoju (*sustainable development*) – Idea rozwoju społeczno-ekonomicznego zakładająca taki rozwój, który zaspakajając potrzeby współczesnych społeczeństw, nie będzie jednocześnie ograniczał możliwości rozwojowych przyszłych pokoleń. Zakłada równoległy rozwój gospodarki, społeczeństwa i środowiska.

XIV. Druk 3D w technologii odlewniczej

XIV.1. Wprowadzenie

Beata Grabowska

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

Przemysłowe techniki wytwarzania i kształtowania części urządzeń, maszyn, obudowy, jak też opakowań oraz przedmiotów codziennego użytku obejmują głównie odlewnictwo, obróbkę plastyczną i obróbkę użytkową. Techniki spajania stanowią odrębną grupę, w której to wyróżnić należy procesy spawania, klejenia, lutowania, napawania i spiekania. Stosuje się również techniki obróbki wyrobów z użyciem skupionej wiązki energii (np. cięcie plazmą, cięcie lasem) oraz techniki obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej. Są to tradycyjne techniki wytwarzania i kształtowania stosowane od wielu lat. W formowaniu wyrobów coraz większe zainteresowanie zyskuje też metalurgia proszków obejmująca proces prasowania, a następnie ich spiekania. Dynamiczny rozwój i wzrastający zasięg zastosowania jest równie silnie widoczny w dziedzinie technik przyrostowych. W rozumieniu tradycyjnym techniki przyrostowe (techniki addytywne, *additive manufacturing*) były od dawna wykorzystywane w różnych obszarach zastosowań. Ich istota polega na nakładaniu materiału budulcowego, jak też łączeniu uprzednio przygotowanych tworzyw lub ich części. Przykładowo znajdują one wciąż zastosowanie w procesie wytwarzania makiet. W budownictwie po dziś dzień mur wytwarza się poprzez warstwowe nakładanie cegieł i zaprawy, a w architekturze klejone są warstwowo paski forniru. Jednak pojawienie się nowoczesnych technik przyrostowych (technologia druku 3D, technologia wytwarzania przyrostowego, technologia szybkiego prototypowania), w tym urządzeń produkcyjnych sterowanych numerycznie stworzyło jeszcze szersze spektrum możliwości wytwarzania obiektów. Obecnie powstanie końcowego wyrobu poprzez wydruk jest związane z uprzednim zaprogramowaniem procesu budowy rzeczywistego obiektu w systemie numerycznym CAM (*Computer Aided Manufacturing*) na podstawie stworzonego wirtualnego modelu 3D (głównie w formie siatek zapisanych w formacie STL), a dalej już z wiernym odtworzeniem zaprogramowanego prototypu. W technikach przyrostowych budowany obiekt powstaje wskutek dodawania materiału, a następnie nanoszenia na siebie kolejnych jego warstw, które to po połączeniu ze sobą stanowią lity przestrzenny obiekt. Należy jednak już w tym miejscu zaznaczyć, że podczas wytwarzania może okazać się konieczne dodatkowe utwardzanie kolejnych warstw ciekłego materiału (np. żywicy) lub spiekanie warstw stałych w postaci proszku [1÷3].

Istotą technik przyrostowych jest więc budowanie poprzez wydruk przestrzenny rzeczywistego obiektu na podstawie geometrii opracowanej w programie komputerowym (3D CAD, 3D *Computer-aided design*). Druk przestrzenny nazwano wprost drukiem 3D (*3D Printing*), a urządzenia i maszyny technologiczne służące do wydruku drukarkami 3D (prototypowe drukarki przestrzenne). W tak przyjętej konwencji nomenklatury słowo „wydruk” należy rozumieć jako rzeczywisty obiekt wytworzony z użyciem drukarki 3D. Natomiast według standardu *American Society for Testing and Materials* (ASTM) 52900:2015, drukowanie 3D można zdefiniować jako „proces łączenia materiałów w celu wykonania części z danych modelu 3D, zwykle warstwa po warstwie, w przeciwieństwie do subtraktywnych i formatywnych metod produkcji” [1, 4÷5]. Rysunek XIV.1.1 przedstawia ogólny podział technik wytwarzania i kształtowania, które są stosowane w przemyśle, m.in. w produkcji maszyn i urządzeń oraz ich części.

Można uznać, że początek zaistnienia obecnie rozumianej technologii druku 3D sięga wczesnych lat osiemdziesiątych, chociaż prace koncepcyjne prowadzone były już w latach siedemdziesiątych [6]. W 1981 roku pierwszy patent na druk 3D został przyznany Hideo Kodamie (Japonia). Kodama opracował urządzenie, które używało promieniowania w zakresie UV do utwardzania fotoreaktywnych polimerów. Technologia ta stała się przydatna do tworzenia modeli i prototypów. Trzy lata później zespół francuskich wynalazców pod przewodnictwem Alaina Le Mehaute złożył pierwsze patenty na metodę stereolitografii (SLA, *Stereolithography*), której istotą jest, podobnie jak w przypadku technologii Kodamy, utwardzanie fotopolimerów promieniowaniem UV. Natomiast w 1989 roku S. Scott Crump (firma *Stratasys*) opatentował technologię FDM (*Fused Deposition Modeling*), która obecnie jest najpowszechniej stosowaną metodą wytwarzania przyrostowego. W procesie wytwórczym technologia FDM przy formowaniu geometrii w wysokich temperaturach wykorzystywała i nadal wykorzystuje materiał polimerowy z grupy termoplastów. Modele drukowane w tej technologii powstają poprzez nakładanie kolejnych warstw płynnego materiału, który jest wytłaczany (tzw. ekstrudowany) z podgrzewanej dyszy [1, 6÷8].

XV. Przemysł 4.0. Gospodarka bezodpadowa

XV.1. Gospodarka o obiegu zamkniętym

Mariusz Holtzer

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

W historii ludzkości w ostatnich 3–4 wiekach miały miejsce doniosłe odkrycia, które w istotny sposób wpłynęły na dalszy rozwój. Okresy pomiędzy tymi odkryciami zostały nazwane rewolucjami przemysłowymi. Pierwsza rewolucja przemysłowa rozpoczęła się w XVIII w. i polegała na zastąpieniu pracy ręcznej przemysłowymi technologiami opartymi na energii uzyskiwanej z pary wodnej oraz spalania węgla. Okres ten nazywany bywa wiekiem pary, a symbolem jest wynalezienie maszyny parowej. Koniec XIX wieku przyniósł szybki rozwój nauki i nowe rozwiązania technologiczne, co pozwoliło na masową produkcję z wykorzystaniem linii montażowych. Okres ten, druga rewolucja przemysłowa, nazywany jest wiekiem elektryczności i wiąże się z masowym wykorzystaniem energii elektrycznej. W fabryce samochodów Forda uruchomiono wówczas pierwszą na świecie linię montażową.

Po II wojnie światowej (umowny początek to lata 70 XX wieku) rozpoczęła się trzecia rewolucja przemysłowa (wiek komputerów), skutkująca rozwojem wysokich technologii. Początkiem było wynalezienie tranzystora, który umożliwił automatyzację procesów produkcyjnych sterowanych komputerowo. Produkty użytkowe stały się dostępne dla ogółu społeczeństwa, ze względu na stosunkowo niskie ceny.

Po produkcji mechanicznej napędzanej siłą pary, produkcji masowej z zastosowaniem energii elektrycznej oraz sterowanej komputerowo zautomatyzowanej linii produkcyjnej, nadszedł czas tzw. jednorodnych systemów cyber-fizycznych (*cyber-physical systems* = CPS), z których rozwiną się inteligentne fabryki (*Smart Factory*), gdzie maszyny będą się komunikować i podejmować decyzje autonomicznie, a udział ludzi w procesie produkcyjnym zostanie ograniczony do niezbędnego minimum.

Okres ten, charakteryzujący się cyfryzacją i informatyzacją gospodarki nazywany jest czwartą rewolucją „Przemysł” 4.0 (*Industry 4.0*) (wiek zanikania bariery ludzkie/maszyny). Jest to koncepcja, która zakłada intensywniejsze wykorzystanie technologii komunikacyjnych. Obejmują one wszystkie technologie umożliwiające przesyłanie informacji, ale i manipulowanie nimi. Są to internet, sieci bezprzewodowe, sieci bluetooth, telefon. Przemysł 4.0 integruje ludzi oraz sterowane cyfrowo maszyny z internetem i technologiami informacyjnymi. Materiały produkowane lub wykorzystywane do produkcji można zawsze zidentyfikować, mają one także możliwość niezależnego komunikowania się między sobą (rys. XV.1.1).



Rys. XV.1.1. Schemat przedstawiający zalety czwartej rewolucji „Przemysł 4.0”

Za początek czwartej rewolucji przemysłowej przyjmuje się rok 2013, aczkolwiek termin ten został po raz pierwszy użyty w 2011 roku podczas międzynarodowych targów Hannover Messe. Celem jest inteligentna fabryka, która będzie wyróżniać się elastycznością, wydajnością i ergonomią. Dzięki usieciowieniu i wymianie danych, przedsiębiorstwa mogą produkować bardziej ekonomicznie i szybciej reagować na indywidualne potrzeby klientów. Czas poświęcony na