

Bogdan Piekarski, Andrzej Drotlew

ODLEWNICTWO

Ćwiczenia laboratoryjne



Szczecin 2014

56688

02/11



**Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie**
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki
Instytut Inżynierii Materiałowej

Bogdan Piekarski, Andrzej Drotlew

ODLEWNICTWO

Ćwiczenia laboratoryjne

SZCZECIN 2014



KAPITAŁ LUDZKI

NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Skrypt współfinansowany przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego

Uatrakcyjnienie kształcenia i zapewnienie wyższej jego jakości na kierunku inżynieria materiałowa ZUT w Szczecinie. Projekt UDA-POKL. 04.01.02-00-103/10-00

Recenzent

JERZY ZYCH



Opracowanie redakcyjne

KATARZYNA MITAN

2. 56688

Projekt okładki i strony tytułowej

BOGDAN PIEKARSKI

Na okładce

ZDJĘCIE Z ARCHIWUM ANDRZEJA DROTLEWA

Wydano za zgodą

REKTORA ZACHODNIOPOMORSKIEGO UNIWERSYTETU TECHNOLOGICZNEGO W SZCZECINIE

ISBN 978-83-7663-174-5

Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie
70-311 Szczecin, al. Piastów 48, tel. 91 449-47-60, e-mail: wydawnictwo@zut.edu.pl
Druk PPH Zapol, Dmochowski, Sobczyk Sp.j., 71-062 Szczecin, al. Piastów 42, tel. 91 434-10-21,
e-mail: zarzad@zapol.com.pl

0. 220/2014

SPIS TREŚCI

Przedmowa	5
Zasady zaliczania ćwiczeń	7
Podstawowe zalecenia BHP	9
Ćwiczenie 1. Metody wytwarzania odlewów	11
1.1. Wprowadzenie	11
1.1.1. Klasyfikacja, pojęcia podstawowe	11
1.1.2. Odlewanie do form jednorazowych (form jednorazowego użytku) ...	12
1.1.3. Odlewanie do form trwałych (form metalowych wielokrotnego użytku)	21
1.2. Przebieg ćwiczenia	34
1.3. Sprawozdanie z ćwiczenia	34
Literatura	34
Ćwiczenie 2. Analiza technologiczności konstrukcji odlewu	37
2.1. Wprowadzenie	37
2.1.1. Ogólne zasady technologiczności odlewów	37
2.1.2. Projektowanie odlewów uwzględniające sposób formowania	38
2.1.3. Konstrukcja odlewu ze względu na połączenia ścianek	42
2.1.4. Ustawienie rdzeni w formie	45
2.1.5. Konstrukcja odlewu ze względu na niebezpieczeństwo powstania odkształceń i pęknięć	46
2.1.6. Konstrukcja odlewu ze względu na łatwość oczyszczania i wykańczania	49
2.2. Przebieg ćwiczenia	50
2.3. Sprawozdanie z ćwiczenia	50
Literatura	50
Ćwiczenie 3. Ręczne wykonanie formy piaskowej	53
3.1. Wprowadzenie	53
3.2. Przebieg ćwiczenia	68
3.3. Sprawozdanie z ćwiczenia	68
Literatura	68
Ćwiczenie 4. Koncepcja technologiczna wykonania odlewu z żeliwa szarego	69
4.1. Wprowadzenie	69
4.2. Przebieg ćwiczenia	82
4.3. Zaliczenie ćwiczenia	88
Literatura	88
Ćwiczenie 5. Właściwości technologiczne syntetycznej masy formierskiej	89
5.1. Wprowadzenie	89
5.2. Przebieg ćwiczenia	99
5.3. Sprawozdanie z ćwiczenia	100
Literatura	100
Ćwiczenie 6. Identyfikacja wad odlewów	101
6.1. Wprowadzenie	101
6.2. Przebieg ćwiczenia	111
6.3. Sprawozdanie z ćwiczenia	111
Literatura	112

Ćwiczenie 7.	Technika komputerowa w uruchamianiu produkcji odlewów	113
7.1.	Wprowadzenie	113
7.2.	Przebieg ćwiczenia	136
7.3.	Sprawozdanie z ćwiczenia	136
	Literatura	136
Ćwiczenie 8.	Wytwarzanie żeliwa modyfikowanego	139
8.1.	Wprowadzenie	139
8.2.	Przebieg ćwiczenia	149
8.3.	Sprawozdanie z ćwiczenia	149
	Literatura	149
Ćwiczenie 9.	Właściwości technologiczno-odlewnicze siluminów	151
9.1.	Wprowadzenie	151
9.2.	Przebieg ćwiczenia	162
9.3.	Sprawozdanie z ćwiczenia	164
	Literatura	164
Załącznik A.	Kształt i wymiary elementów układu wlewowego (PN-H-54231. <i>Odelewnicze zespoły modelowe. Elementy układów wlewowych</i>)	167
Załącznik B.	Szkice elementów odlewanych	173
B.1.	Szkice o mniejszym stopniu trudności	173
B.2.	Szkice o wyższym stopniu trudności	179
Załącznik C.	Wytwarzanie odlewów w Odlewni Doświadczalnej IIM Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki ZUT w Szczecinie	181
C.1.	Wytwarzane odlewy	181
C.2.	Wykonanie odlewu palety o małych rozmiarach	183
C.3.	Wykonanie odlewu palety o dużych rozmiarach	188
	Polsko-angielsko-niemiecki słownik terminów stosowanych w odlewnictwie	193

PRZEDMOWA

Skrypt zawiera zbiór instrukcji do ćwiczeń laboratoryjnych z odlewnictwa dla studentów kierunku inżynieria materiałowa. Zajęcia są prowadzone w Odlewni Doświadczalnej Instytutu Inżynierii Materiałowej Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie.

Historia Odlewni Doświadczalnej sięga 1947 roku, w którym to na Wydziale Mechanicznym Szkoły Inżynierskiej w Szczecinie powołano do życia Katedrę Technologii Metali i Chemii. W ramach jej działalności dydaktycznej prowadzono zajęcia z topienia stopów Al, formowania i modelarstwa odlewniczego. Założycielem i pierwszym kierownikiem Katedry był zastępca profesora mgr inż. Konstanty Miściuk. Zespół naukowo-dydaktyczny Odlewni w latach następnych, podobnie jak sama Uczelnia (Szkoła Inżynierska → Politechnika Szczecińska → Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny), podlegał przekształceniom organizacyjnym (Katedra Odlewnictwa → Zakład Odlewnictwa → Odlewnia Doświadczalna). Od 1979 roku jest częścią Zakładu Metaloznawstwa i Odlewnictwa Instytutu Inżynierii Materiałowej.

Pierwsze wydanie tego skryptu, zatytułowane „Ćwiczenia laboratoryjne z odlewnictwa”, ukazało się w 2006 roku. Jego nakład został już dawno wyczerpany, ale też po latach użytkowania stawało się coraz bardziej oczywiste, że przedstawiane w nim treści wymagają rozbudowania, tak by w lepszym stopniu mogły być zrozumiałe dla studentów pierwszego roku studiów, zwykle bez wcześniejszego przygotowania technicznego. Wspólnie więc z dr. inż. Andrzejem Drotlewem, który prowadzi te zajęcia od lat, dokonaliśmy szeregu poprawek i uzupełnień. Zmodyfikowaliśmy też pierwotny tytuł.

Celem ćwiczeń przedstawionych w skrypcie jest praktyczne zapoznanie studentów z podstawowymi zagadnieniami związanymi z procesami wytwarzania odlewów. Program dziewięciu ćwiczeń laboratoryjnych każdorazowo poprzedzono wprowadzeniem obejmującym teoretyczne i praktyczne podstawy danego zagadnienia.

Autorzy mają nadzieję, że tak przedstawiona całość materiału będzie pomocna Czytelnikowi w zdobywaniu wiedzy i umiejętności z zakresu odlewnictwa. Jednocześnie pragną gorąco podziękować wszystkim Koleżankom i Kolegom, którzy wnieśli swój wkład w rozwój tych ćwiczeń oraz przygotowanie skryptu.

Ćwiczenia stanowią dopełnienie wykładów z przedmiotów: techniki wytwarzania I, podstawy nauki o materiałach, procesy i techniki produkcyjne, dlatego też są pomocą dydaktyczną również dla studentów innych kierunków studiów niż inżynieria materiałowa, takich jak:

- mechanika i budowa maszyn,
- zarządzanie i inżynieria produkcji.

Autorzy

ZASADY ZALICZANIA ĆWICZEŃ

1. Student na pierwszych zajęciach laboratoryjnych jest zapoznawany z zasadami BHP obowiązującymi w Odlewni Doświadczalnej Instytutu Inżynierii Materiałowej ZUT w Szczecinie. Instruktaż BHP kończy się podpisaniem przez studenta zaświadczenia o odbytym przeszkoleniu.

2. Zaliczenie danego ćwiczenia następuje na podstawie otrzymania pozytywnej oceny ze sprawdzianu oraz sprawozdania. Ocena końcowa za aktywność studenta na ćwiczeniach (za całość zajęć) jest oceną średnią z wcześniej otrzymanych ocen.

3. Wymagana jest obecność na wszystkich ćwiczeniach. W przypadku nieobecności na danym ćwiczeniu należy w możliwie krótkim czasie uzgodnić z prowadzącym zajęcia inny termin jego wykonania lub inną formę zaliczenia.

4. W trakcie trwania laboratorium należy wykazać się czynnym udziałem, udokumentowanym odpowiednimi notatkami zawierającymi wyniki przeprowadzonych pomiarów i obserwacji.

5. Wymagane jest bezwzględne przestrzeganie przepisów BHP. Wszelkie zachowania niezgodne z wcześniejszymi ustaleniami co do porządku przebiegu ćwiczenia mogą być podstawą do jego niezaliczenia.

6. Student wykonujący ćwiczenie jest zobowiązany do wcześniejszego przygotowania się do niego oraz wykonania sprawozdania z jego przebiegu. Sprawozdanie formatu A4 rozpoczyna tabela, której wzór przedstawiono poniżej.

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie		
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki – Instytut Inżynierii Materiałowej		
Zakład Metaloznawstwa i Odlewnictwa		
Odlewnictwo – ćwiczenie laboratoryjne		
Temat ćwiczenia:		
Prowadzący:		
Imię i nazwisko studenta:	Kierunek studiów:	
	Nr grupy:	Rok akad.:
Data wykonania ćwiczenia:	Ocena i podpis prowadzącego:	

PODSTAWOWE ZALECENIA BHP

Zajęcia laboratoryjne prowadzone są w pomieszczeniach, w których jednocześnie realizowane są prace związane z działalnością naukowo-badawczą Instytutu Inżynierii Materiałowej. W związku z tym od studentów biorących udział w ćwiczeniach wymagane jest zdyscyplinowanie i skoncentrowanie się wyłącznie na uczestnictwie w zajęciach.

Studenci muszą bezwzględnie przestrzegać następujących zasad i zaleceń obowiązujących w trakcie trwania ćwiczeń:

1. Zapoznanie się z instrukcją obsługi i eksploatacji aparatu/urządzenia stosowanego podczas ćwiczenia.

2. Zakazuje się uruchamiania aparatury i urządzeń bez wyraźnego polecenia prowadzącego zajęcia.

3. Zaleca się:

- stosowanie odzieży ochronnej (stroju ochronnego oraz kasku z przyłbicą chroniącą oczy) w sytuacjach określonych przez prowadzącego,
- zakładanie na ćwiczenia odzieży przylegającej do ciała i obuwia zakrywającego stopy; przychodzenie na zajęcia w obuwiu typu chodaki, sandały czy klapki jest zabronione.

4. Zakazuje się dotykania pieców oraz innych urządzeń poza wskazanymi przez prowadzącego zajęcia.

5. Studenci powinni przebywać w pomieszczeniach laboratoryjnych w grupach, w miejscach wskazanych przez prowadzącego zajęcia.

6. Prowadzący ustala zakres czynności wykonywanych w ramach ćwiczeń i przydziela je poszczególnym osobom.

7. Zakazuje się samowolnego oddalania się od grupy, jak również z miejsca wskazanego przez prowadzącego zajęcia.

8. Studenci na pierwszym spotkaniu z prowadzącym zajęcia są zapoznawani z niniejszymi zasadami i zaleceniami. Są również zobowiązani do przestrzegania dodatkowych zaleceń podawanych przez prowadzącego w trakcie trwania poszczególnych ćwiczeń.

Ćwiczenie 1

METODY WYTWARZANIA ODLEWÓW

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z:

- metodami odlewania,
- podstawowymi terminami i definicjami stosowanymi w odlewnictwie metali,
- przebiegiem procesu wytwarzania odlewów.

1.1. WPROWADZENIE

1.1.1. KLASYFIKACJA, POJĘCIA PODSTAWOWE

Odlewnictwo metali obejmuje całokształt zagadnień dotyczących wytwarzania przedmiotów o dowolnym, z góry przewidzianym kształcie i wymiarach wskutek wypełniania ciekłym metalem formy odlewniczej, wcześniej odpowiednio przygotowanej. Jest jedną z podstawowych technik wytwarzania części maszyn i urządzeń (ale też wyrobów indywidualnych, w tym artystycznych) i ściśle wiąże się z takimi dyscyplinami naukowymi, jak: metalurgia, metaloznawstwo, termodynamika, chemia, mechanika i wytrzymałość materiałów.

Odlewanie, ze względu na swoją wszechstronność i taniłość, jest powszechnie stosowaną metodą wytwarzania wyrobów metalowych we wszystkich gałęziach przemysłu, a szczególnie w przemyśle maszynowym. Odlewy mogą stanowić nawet do 80% masy niektórych maszyn, np. obrabiarek czy silników. Masa pojedynczej odlewanej części może wynosić od kilku gramów do kilkuset megagramów [1–14].

Podstawowy podział odlewnictwa wywodzi się od materiału stosowanego do wytwarzania odlewów i obejmuje:

- odlewnictwo staliwa,
- odlewnictwo żeliwa,
- odlewnictwo metali nieżelaznych, w tym odlewnictwo stopów ciężkich (np.: stopów Cu, Ni, Co, Sn i Pb) i lekkich (np.: stopów Al, Mg i Ti).

Klasyfikacja procesów wytwarzania odlewów uwzględnia też inne ich cechy. Wartość ciśnienia wywieranego na ciekły metal podczas zalewania form lub bezpośrednio po ich wypełnieniu to podstawa podziału odlewania na:

- grawitacyjne,
- odśrodkowe,
- niskociśnieniowe i ciśnieniowe,
- próżniowe,
- z prasowaniem ciekłego metalu.

Ze względu na krotkość użycia formy odlewniczej wyodrębnia się:

- odlewanie do form jednorazowych,
- odlewanie do form trwałych (wielokrotnego użytku).

Klasyfikacja uwzględniająca sposób wykonania formy odlewniczej prowadzi do wyróżnienia:

- formowania ręcznego,
- formowania maszynowego.

Podział podstawowych metod wytwarzania odlewów przedstawiono w tab. 1.1. Uzupełniono go opisem poszczególnych metod oraz schematami wyjaśniającymi ich istotę.

Tabela 1.1. Najczęściej stosowane metody wytwarzania odlewów [1–14]

Zalewanie formy ciekłym metalem	Z użyciem formy odlewniczej	
	jednorazowej	trwałej
Metoda odlewania		
Grawitacyjne	do formy: – piaskowej, – skorupowej, – precyzyjnej, – pełnej (model zgazowywany), – próżniowej	kokilowe ciągłe
Niskociśnieniowe	do formy: – piaskowej, – pełnej (model zgazowywany)	niskociśnieniowe z przeciwcisnieniem próżniowo-ciśnieniowe
Wysokociśnieniowe		klasyczne ciśnieniowe: – z gorącą komorą prasowania – z zimną komorą prasowania tiksotropowe prasowanie w stanie ciekłym
Odśrodkowe		odśrodkowe właściwe półodśrodkowe pod ciśnieniem odśrodkowym

1.1.2. ODELEWANIE DO FORM JEDNORAZOWYCH (FORM JEDNORAZOWEGO UŻYTKU)

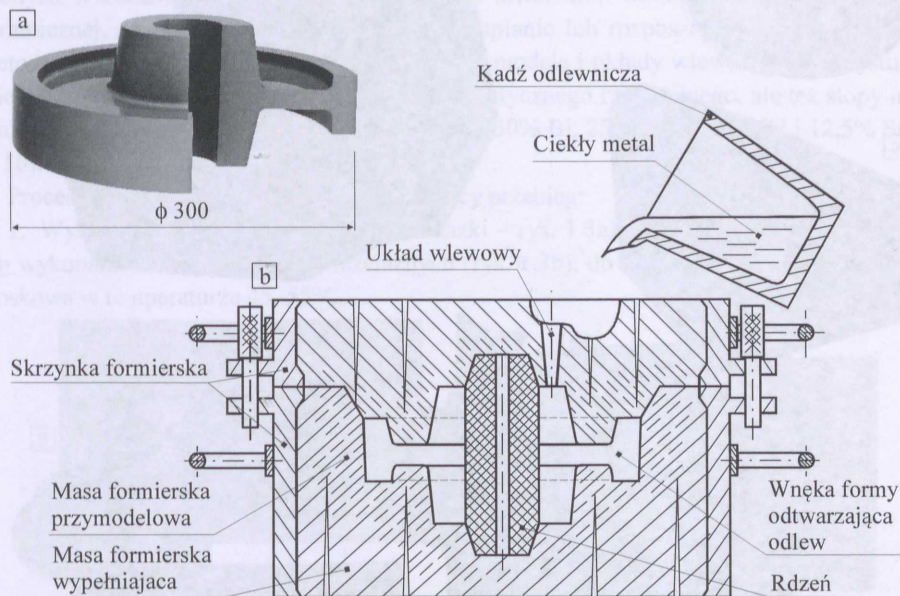
Odlewanie grawitacyjne – zalewanie form ciekłym metalem pod działaniem siły grawitacji. W tej metodzie wytwarzania odlewów wyróżnia się kilka rodzajów form odlewniczych (tab. 1.1) pozwalających na otrzymywanie odlewów o różnej dokładności wymiarowej i gładkości powierzchni.

Forma piaskowa – forma wykonana z masy formierskiej (rys. 1.1), składającej się z kwarcowego piasku formierskiego i materiału wiążącego pochodzenia organicznego lub nieorganicznego. Szacuje się, że z jej użyciem wykonuje się ponad 60% odlewów w skali światowej. W formie może się mieścić od 1 do kilku odlewów.

Wykonanie formy wymaga przygotowania: oprzyrządowania odlewniczego (zespołu elementów obejmującego głównie: model, rdzennicę, model układu wlewowego oraz płytę modelową), masy formierskiej i rdzeniowej o odpowiednich właściwościach oraz posiadania

skrzynki formierskiej o odpowiednim rozmiarze i wielkości. Wnęka formy, odtwarzająca kształt zewnętrzny odlewu, wykonywana jest z użyciem modelu. Rdzeń znajdujący się w rdzennicy odtwarza najczęściej wewnętrzne kształty odlewu, niekiedy również zewnętrzne jego powierzchnie. Formy i rdzenie wykonuje się zarówno ręcznie, jak i maszynowo [2, 8].

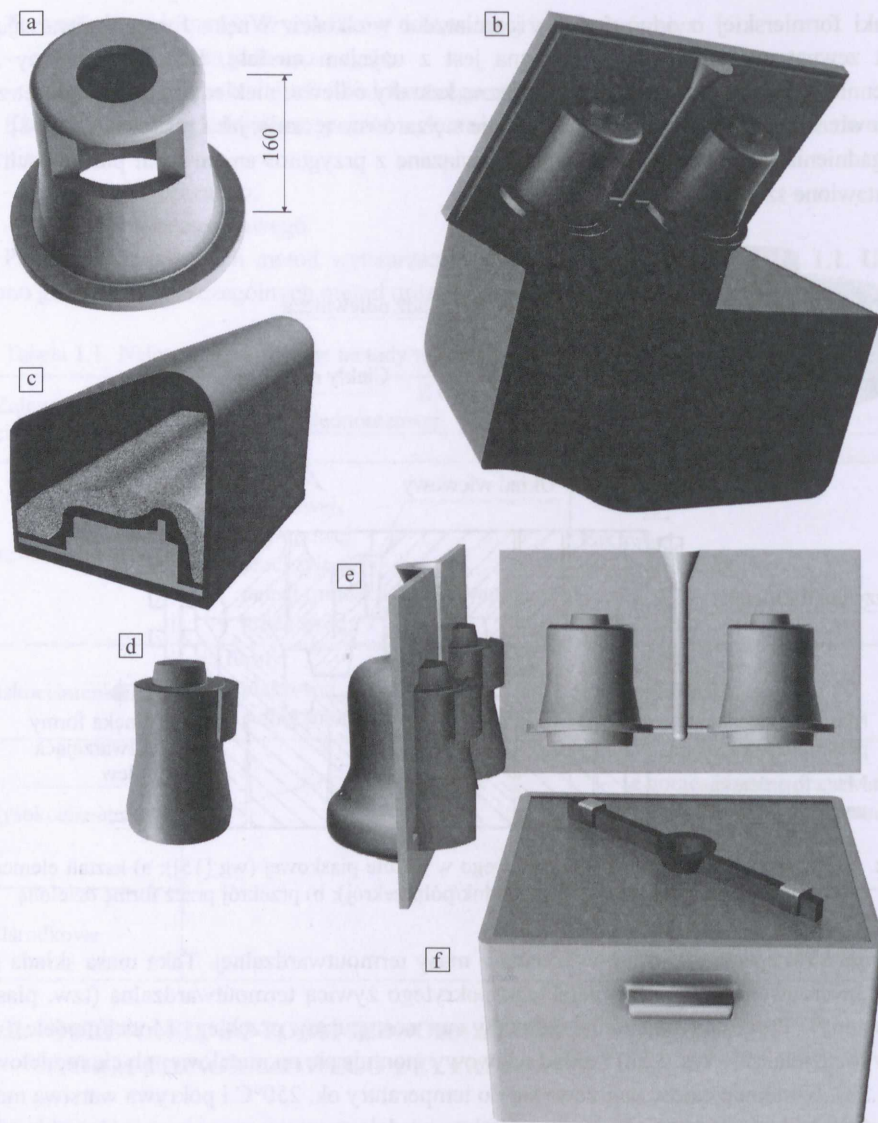
Zagadnienia techniczno-technologiczne związane z przygotowaniem form piaskowych są przedstawione szerzej w ćwiczeniach 3–5 i 8.



Rys. 1.1. Wykonanie żeliwnego koła pasowego w formie piaskowej (wg [15]): a) kształt elementu odlewane (rysunek w 3D, półwidok/półprzekrój); b) przekrój przez formę dzieloną

Forma skorupowa – forma wykonana z masy termoutwardzalnej. Taka masa składa się z ziarn kwarcowego piasku formierskiego pokrytego żywicą termoutwardzalną (tzw. piasek powleczony). Proces wytwarzania odlewów ma następujący przebieg: Model/modele (np. osłony rozdzielacza – rys. 1.2a) i układ wlewowy montuje się na metalowej płycie modelowej (rys. 1.2b). Następnie całość nagrzewa się do temperatury ok. 250°C i pokrywa warstwą masy termoutwardzalnej. W tym celu rozgrzaną płytę modelową umieszcza się na górze zbiornika z masą i całość obraca o kąt 180° (rys. 1.2c). Warstwa masy znajdująca się nad płytą utwardza się pod wpływem temperatury, tworząc skorupę (połowę formy). Drugą połowę formy wykonuje się w ten sam sposób. Ostateczne utwardzenie skorup następuje w procesie ich wygrzewania w temperaturze 300–400°C. Jeżeli odlew jest rdzeniowany, jak w opisywanym przykładzie, po oddzieleniu skorup od płyt montuje się w nich rdzenie (rys. 1.2d), a następnie składa się i łączy klamrami (rys. 1.2e). Dla stabilnego ustawienia formy podczas jej zalewania ciekłym metalem umieszcza się ją w skrzynce formierskiej i obsypuje suchym piaskiem kwarcowym (rys. 1.2f).

Przedstawiony proces wykonywania formy skorupowej jest określany w literaturze angielskiej jako proces C (ang. *Croninga*).



Rys. 1.2. Odlewanie w formie skorupowej osłony rozdzielacza: a) wygląd odlęwu; b) płyta modelowa z elementami modeli i układu wlewowego umieszczona nad zbiornikiem z masą; c) spiekanie skorupy (utworzenie połowy formy); d) rdzeń; e) połowy formy skorupowej przed złożeniem, we wnęce lewej połowy formy ustawiono rdzenie; f) forma przygotowana do zalania ciekłym metalem

Odmianą formowania skorupowego jest proces D (ang. *Dieterta*), w którym masa jest wstrzeliwana za pomocą sprężonego powietrza między płytę modelową a metalową osłonę. W tym przypadku zewnętrzna powierzchnia formy nie jest powierzchnią swobodną (jak w procesie C), ale odwzorowuje kształt ścianki osłony.

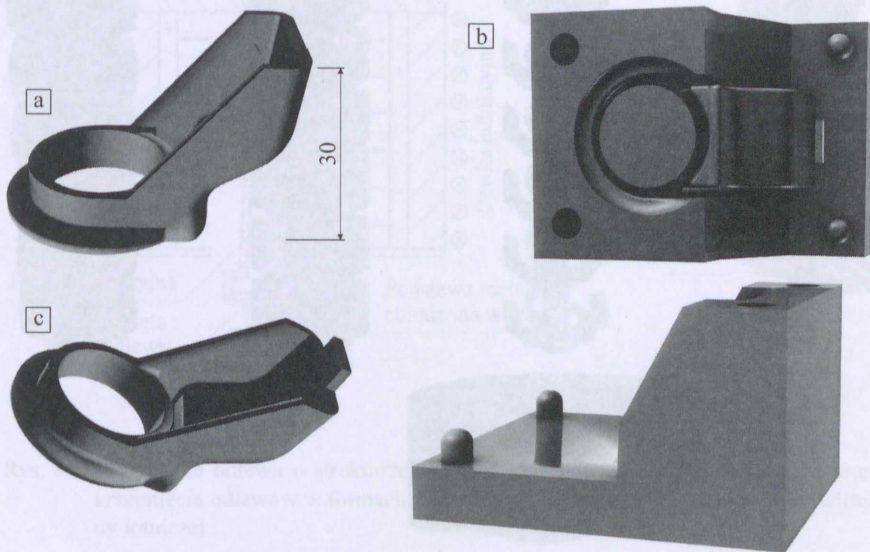
Procesy C i D równie często stosuje się do wykonywania rdzeni. Wdmuchując masę do gorącej rdzennicy, a następnie wysypując ze środka rdzenia niezwiązany jej nadmiar, otrzymuje się gotowy rdzeń pusty w środku.

Formy skorupowe są stosowane przede wszystkim w produkcji seryjnej i masowej odlewów o dużej dokładności wymiarowej [2, 8].

Forma precyzyjna – forma wykonana z zastosowaniem modeli z mas modelowych, łączonych w zestawy modelowe. Zestawy te, po utworzeniu wokół nich niedzielonej formy ceramicznej, są usuwane przez wypalanie, wytapianie lub rozpuszczanie (forma wykonana metodą wytapianych modeli). Jako tworzywo na modele i układy wlewowe wykorzystuje się mieszaniny niskotopliwe, najczęściej wosku syntetycznego i naturalnego, ale też stopy metali o niskiej temperaturze topienia, np. stop Wooda (50% Bi, 25% Pb, 12,5% Cd i 12,5% Sn) [4, 8, 16].

Proces wytwarzania odlewów ma następujący przebieg:

1. Wykonanie modelu odlewu (np. zawieszki – rys. 1.3a); służy do tego matryca stalowa lub wykonana ze stopów metali nieżelaznych (rys. 1.3b), do której wtryskuje się mieszaninę woskową w temperaturze 45–55°C.



Rys. 1.3. Odlewanie precyzyjne: a) wygląd odlewu zawieszki; b) matryca do wykonania modelu woskowego; c) model woskowy z elementem odwzorowującym kształt wlewu doprowadzającego

2. Wykonanie zestawu modelowego (rys. 1.4a i b); model łączy się z wlewem głównym układu wlewowego przez zgrzewanie, stosując lutownicę o płaskim ostrzu lub specjalny przyrząd elektryczny. Układ wlewowy wykonuje się tą samą technologią co modele. Zestaw modelowy uzupełnia się o zaczep transportowy (rys. 1.4a).

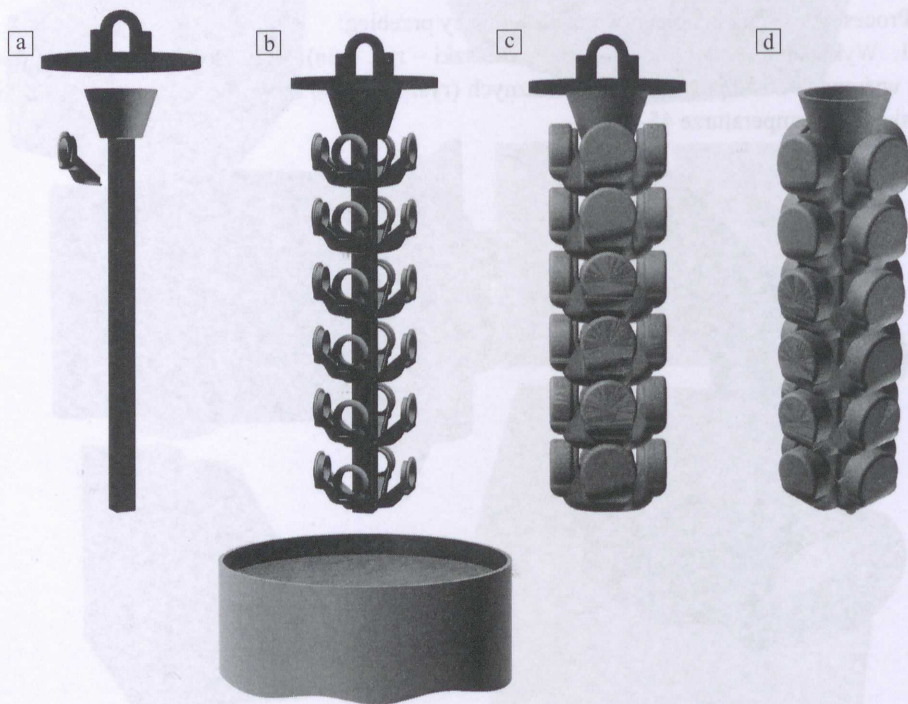
3. Wykonanie formy ceramicznej (rys. 1.4c); zestaw modelowy jest zanurzany kilkakrotnie (rys. 1.4b) w ciekłej masie ceramicznej (osnowę masy stanowi materiał drobnoziarnisty,

tj.: mulit, silimanit czy cyrkonit, a spoiwo to najczęściej krzemian etylu), by otrzymać niedzieloną wielowarstwową formę o grubości ścianki w granicach 4–8 mm. Każdą kolejną warstwę o grubości ok. 0,15–1 mm obsypuje się ceramicznym materiałem ziarnistym (np. piaskiem kwarcowym) i utwardza przez suszenie na powietrzu. Następnie z formy wytapia się modele i układ wlewowy w autoklawie z przegrzaną parą wodną o temperaturze 135–165°C i na koniec wypraża się ją w temperaturze 850–1100°C [4, 8, 16],

4. Zalanie formy ciekłym metalem (rys. 1.4d); gdy forma wymaga wzmocnienia, jest przed zalaniem metalem ustawiana w skrzynce i obsypywana (jak w przypadku form skorupowych – rys. 1.2f) gruboziarnistym kwarcytem lub szamotem.

5. Rozkruszenie formy i odcięcie odlewów od układu wlewowego.

6. Obróbka końcowa odlewów.



Rys. 1.4. Budowanie zestawu modelowego odlewu zawieszki: a) mocowanie modeli i zaczepu transportowego do modelu układu wlewowego; b) złożony zestaw modelowy nad zbiornikiem z ciekłą masą ceramiczną; c) forma ceramiczna wytworzona na powierzchni zestawu modelowego; d) forma gotowa do zalania ciekłym metalem

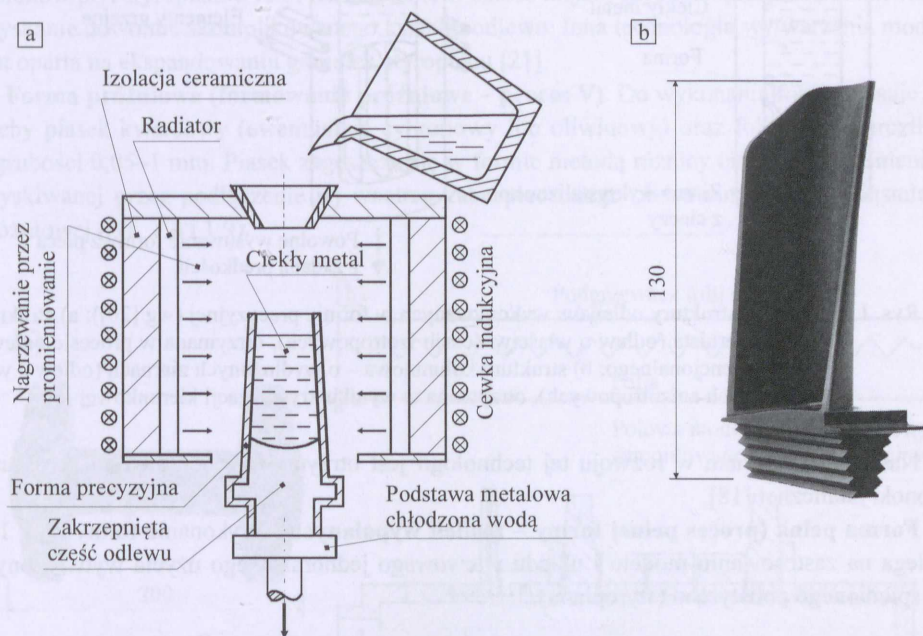
Wytwarzanie odlewów w technologii form precyzyjnych pozwala na zapewnienie im największej dokładności wymiarowej i gładkości powierzchni w całej rodzinie wyrobów odlanych. Metodę tę stosuje się również do wytwarzania odlewów ze stopów trudnoobrabialnych. Przeciętnie przyjmuje się minimalną odchyłkę wymiarową $\pm 0,1$ mm. Przy bardzo starannie prowadzonej produkcji można osiągnąć tolerancję wykonania $\pm 0,005$ mm dla bardzo małych odlewów. Chropowatość powierzchni surowej odlewu odpowiada chropowatości po-

wierzchni uzyskanej po obróbce mechanicznej – średnia wysokość nierówności $R_a = 1,6\text{--}25\text{ }\mu\text{m}$ (patrz tab. 1.3).

W procesie odlewania precyzyjnego stosowana jest także metoda Shawa i formy gipsowej [1–13].

Ciekawym przykładem wytwarzania odlewów w technologii form precyzyjnych, bardzo złożonym technologicznie, jest ich otrzymywanie metodą krystalizacji kierunkowej (rys. 1.5) lub monokrystalizacji [8, 14, 17].

Krystalizacja kierunkowa polega na stworzeniu takich warunków, by w trakcie krzepnięcia odlewu krystalizacja ciekłego metalu postępowała stopniowo wzdłuż wybranego kierunku (rys. 1.5a, 1.6b).

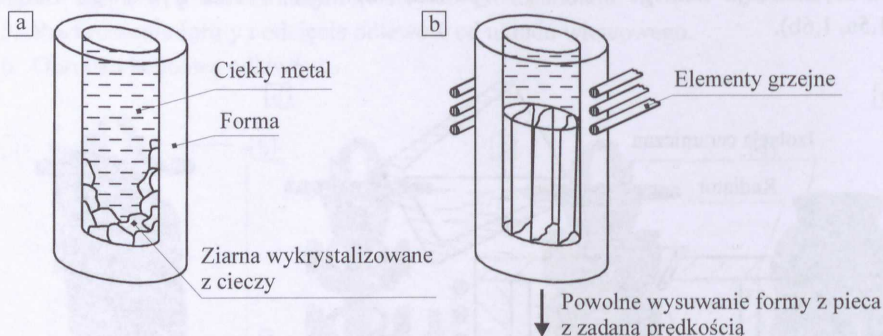


Rys. 1.5. Wykonanie odlewu o strukturze kierunkowej: a) schemat urządzenia do kierunkowego krzepnięcia odlewów w formach precyzyjnych (wg [17]); b) odlew łopatki wirnika turbiny lotniczej

Uogólniając, należy stwierdzić, że większość wykonywanych odlewów powinna charakteryzować się budową polikrystaliczną. Ciała stałe są na ogół polikrystaliczne, tzn. złożone z dużej liczby kryształów (ziarn), różniących się kierunkiem ułożenia w przestrzeni (rys. 1.6a). Taki układ ziarn zapewnia odlewom właściwości izotropowe (brak różnic we właściwościach fizycznych – rozszerzalność termiczna, przewodzenie ciepła czy przewodnictwo elektryczne – i mechanicznych, niezależnie od tego, w jakim kierunku są one mierzone). Jednak w przypadku gdy odlewy są poddawane jednoosiowemu rozciąganiu w warunkach eksploatacji, korzystniej dla ich niezawodności i trwałości jest, gdy charakteryzują się właściwościami anizotropowymi – mają możliwie dobre właściwości w kierunku działania obciążenia.

Aby to osiągnąć, poddajemy stop krystalizacji kierunkowej (rys. 1.6b), podczas której zapewnia się kierunkowe odprowadzanie ciepła oraz odpowiednio duży gradient temperatury w obszarze między temperaturą likwidus a solidus krzepnącego stopu.

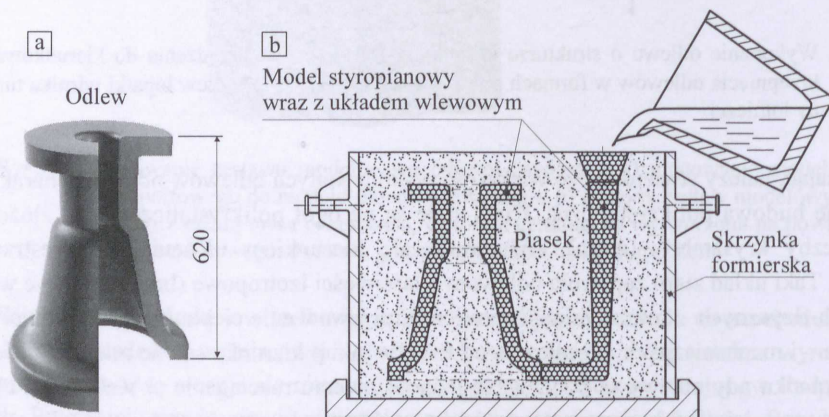
Najpopularniejszym przykładem tego typu odlewów są elementy silników odrzutowych – takie jak: łopatki turbin (rys. 1.5b), segmenty aparatów kierujących oraz aparaty kierujące – wykonywane metodą odlewania precyzyjnego z nadstopów Ni i Co [18, 19]. W odlewach wykonanych tą metodą otrzymuje się wydłużone ziarna z granicami równoległymi do kierunku działania naprężenia.



Rys. 1.6. Różnica struktury odlewów wykonywanych w formie precyzyjnej (wg [20]): a) struktura drobnoziarnista (odlew o właściwościach izotropowych), otrzymana w procesie odlewania konwencjonalnego; b) struktura kolumnowa – o wydłużonych ziarnach (odlew o właściwościach anizotropowych), otrzymana w wyniku krystalizacji kierunkowej

Następnym krokiem w rozwoju tej technologii jest otrzymywanie odlewów o strukturze monokrystalicznej [18].

Forma pełna (proces pełnej formy – modeli wypalanych). Wykonanie formy (rys. 1.7) polega na zastosowaniu modelu i układu wlewowego jednorazowego użycia wytworzonych ze spienionego polistyrenu (styropianu).



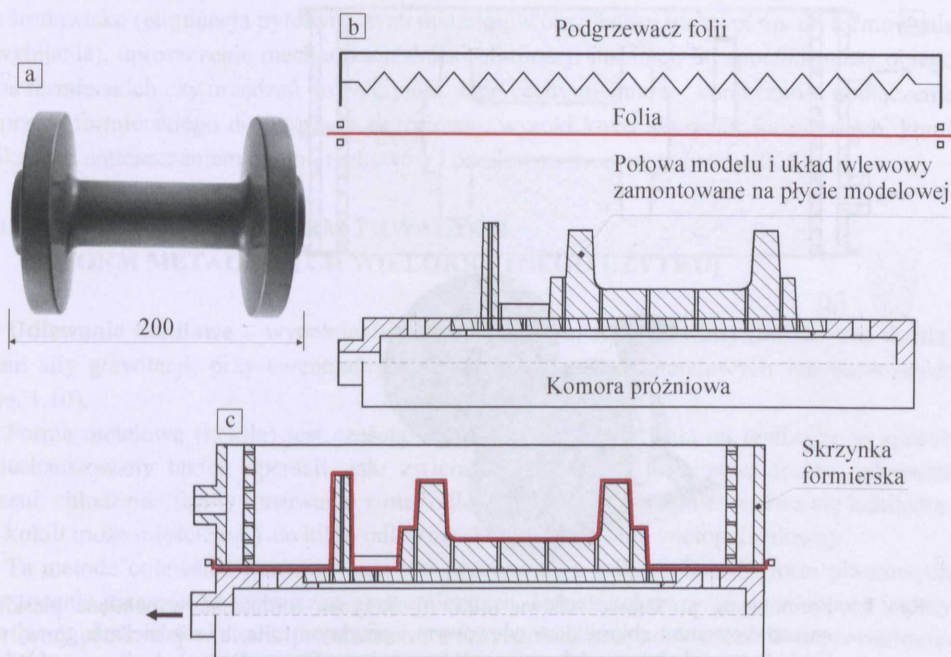
Rys. 1.7. Wykonanie odlewu zwężki kołnierzowej metodą pełnej formy: a) wygląd elementu; b) przekrój przez formę niedzielną

Na powierzchnię modelu styropianowego nanosi się powłokę ognioodporną. Model wraz z układem wlewowym jest umieszczany w skrzynce formierskiej, którą wypełnia się suchym piaskiem. Dla zwiększenia stopnia zagęszczenia piasku forma jest poddawana wibracji.

Ciekły metal wlany do formy zgazowuje najpierw układ wlewowy, a następnie model, wypełniając tak utworzoną wnękę formy. Styropian w trakcie kontaktu z ciekłym metalem przechodzi w stan ciekły w temperaturze 204°C , a w stan gazowy w temperaturze 316°C . Gazy powstające w procesie zgazowania modelu podczas zalewania formy metalem przechodzą przez powłokę ochronną i piasek, wydostając się na zewnątrz formy. W rozwiązaniach przemysłowych gazy są kierowane do stacji ich neutralizacji.

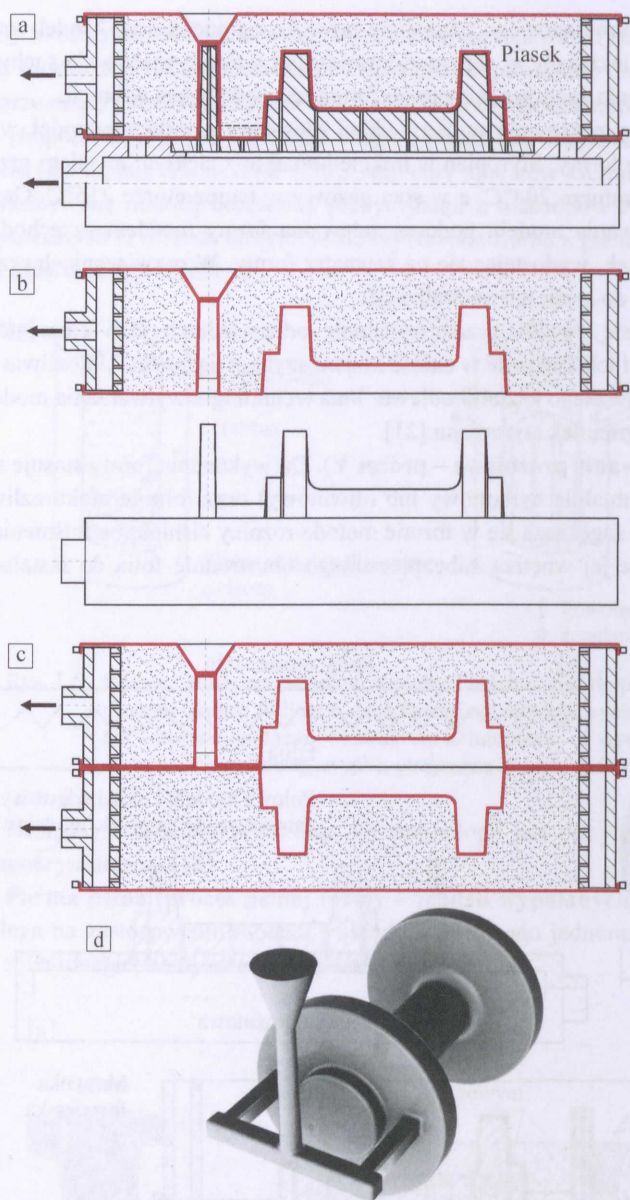
Omodelowanie wykonuje się zwykle przez wycinanie odpowiednich jego elementów z bloków/płyt styropianowych i ich sklekanie w całość klejem szybkowiążącym. Umożliwia to uzyskanie dowolnie skomplikowanego kształtu odlewu. Inna technologia wytwarzania modeli jest oparta na ekspandowaniu granulek styropianu [21].

Forma próżniowa (formowanie próżniowe – proces V). Do wykonania formy stosuje się suchy piasek kwarcowy (ewentualnie cyrkonowy lub oliwinowy) oraz folię termokurczliwą o grubości 0,05–1 mm. Piasek zagęszcza się w formie metodą różnicy ciśnień (podciśnienia), uzyskiwanej przez podłączenie jej wnętrza zabezpieczonego obustronnie folią do instalacji próżniowej (rys. 1.8 i 1.9).



Uwaga: folia w przekroju jest zaznaczona grubą, czerwoną linią

Rys. 1.8. Formowanie próżniowe odlewu rolki: a) wygląd wykonywanego elementu; b) podgrzewanie folii oraz model zamocowany na płycie, całość umieszczona we wnęce komory próżniowej; c) nałożenie folii na płytę, podłączenie komory do odciągu próżniowego oraz ustawienie skrzynki formierskiej



Rys. 1.9. Formowanie próżniowe odlewu rolki: a) skrzynka formierska wypełniona piaskiem z ukształtowanym zbiornikiem wlewowym i przykryta folią; b) rozdzielenie górnej połówki formy od płyty modelowej; c) złożone połowy formy; d) wygląd odlewu z układem wlewowym

Sposób sporządzania formy (rys. 1.8 i 1.9) przedstawiono na przykładzie odlewu rolki (rys. 1.8a). Strzałki na rys. 1.8c oraz 1.9a–c informują, że komora próżniowa/skrzynka formierska są połączone do instalacji próżniowej.

Folię podgrzaną do temperatury plastyczności (rys. 1.8b) zakłada się na płytę modelową (rys. 1.8c). Folia ta odwzorowuje kształt modelu i układu wlewowego (podciśnienie w komorze próżniowej ok. 0,05 MPa). Następnie na płytę modelową nakłada się skrzynkę formierską z komorą próżniową (rys. 1.9a). Skrzynka musi zapewnić odprowadzanie powietrza z wnętrza formy, dlatego stosuje się komory próżniowe na jednej lub dwóch jej ściankach oraz przegrody porowate lub sitowe. Kolejne etapy wykonania formy to: nasypanie suchego piasku kwarcowego do skrzynki formierskiej, jego zagęszczenie i wyrównanie z krawędzią formy z użyciem wibracji, ukształtowanie w piasku zbiornika wlewowego, przykrycie folią górnej powierzchni skrzynki oraz podłączenie tej skrzynki do pompy (rys. 1.9a). W wyniku działania podciśnienia uzyskuje się zagęszczenie piasku i końcowe ukształtowanie połowy formy. Po zwolnieniu próżni z komory płyty modelowej oddziela się od niej formę (rys. 1.9b). W ten sposób otrzymuje się też drugą połowę formy. Kolejną czynnością jest składanie formy z dwóch połówek podłączonych do instalacji próżniowej (rys. 1.9c). W czasie zalewania formy metalem utrzymuje się próżnię w komorach skrzynek. Po zakrzepnięciu odlewu wyłącza się próżnię i odlew (rys. 1.9d) wypada z formy razem z piaskiem. Folia ulega zgazowaniu w czasie zalewania formy.

Proces formowania próżniowego ma wiele zalet, takich jak: wysoka gładkość powierzchni oraz dobra jakość odlewów, niższy koszt produkcji odlewów w porównaniu z technologią formowania na wilgotno, higiena i dobre warunki pracy, brak niekorzystnego oddziaływania na środowisko (eliminacja pyłotwórczych materiałów oraz hałasu maszyn, np. do formowania i wybijania), uproszczenie mechanizacji dzięki eliminacji instalacji do sporządzania i obiegu mas formierskich czy urządzeń do wybijania. Jego cechy ujemne to: konieczność podłączenia osprzętu formierskiego do instalacji próżniowej, wysoki koszt skrzynek formierskich, komplikacje z umieszczaniem rdzeni, nadlewów i przelewów we wnęce formy [2, 8].

1.1.3. ODLEWANIE DO FORM TRWAŁYCH (FORM METALOWYCH WIELOKROTNEGO UŻYTKU)

Odlewanie kokilowe – wypełnianie ciekłym metalem formy trwałej (kokili) pod działaniem siły grawitacji, przy ewentualnym zastosowaniu rdzeni metalowych lub piaskowych (rys. 1.10).

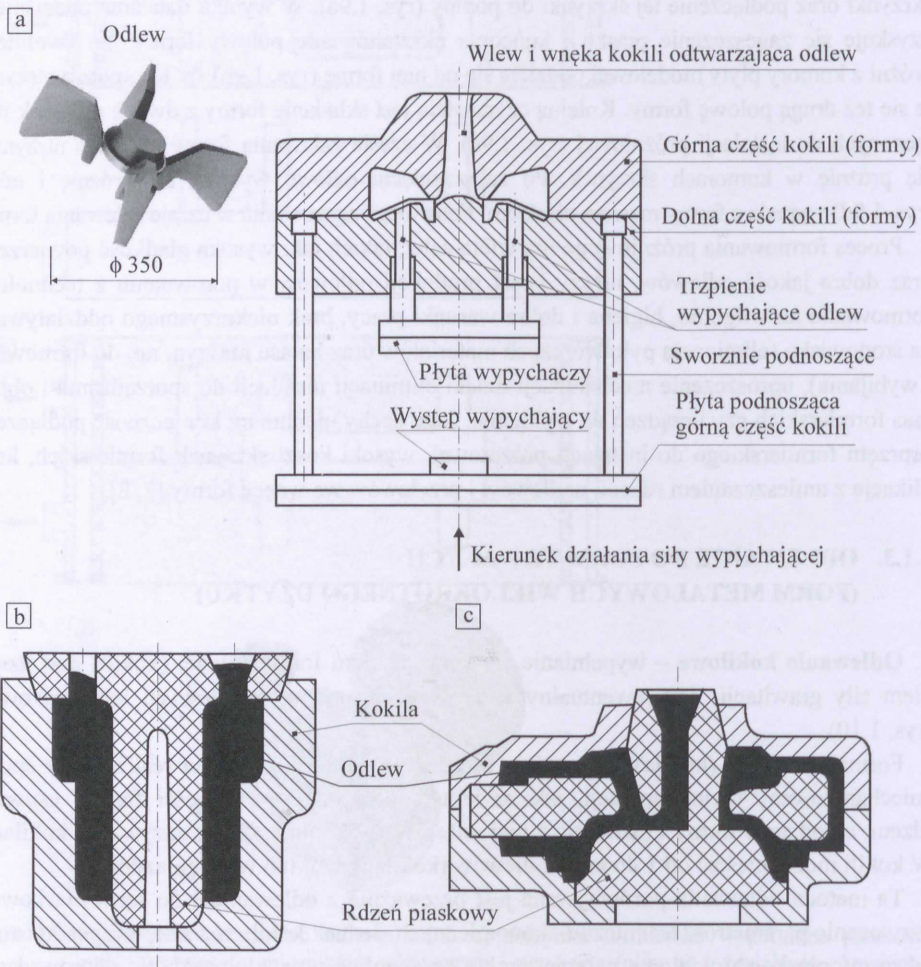
Forma metalowa (kokila) jest częścią urządzenia, które pozwala na realizację w sposób zmechanizowany takich operacji, jak: zwieranie poszczególnych części formy, usuwanie rdzeni, chłodzenie formy i usuwanie z niej odlewów. Takie urządzenie nazywa się kokilarką. W kokili może mieścić od 1 do kilku odlewów (kokila jedno- lub wielogniazdowa).

Ta metoda odlewania porównywana jest przeważnie z odlewaniem do form piaskowych przy ocenie parametrów techniczno-ekonomicznych. Jednak kokila różni się w sposób istotny od formy piaskowej wieloma parametrami, a szczególnie inną zdolnością do odprowadzania i akumulacji ciepła, nieprzepuszczalnością powietrza i gazów, brakiem podatności na odkształcenia plastyczne, mniejszą chropowatością odwzorowywanych powierzchni itd. [4].

Zaletami odlewania kokilowego w porównaniu z odlewaniem w formach piaskowych są:

- większa dokładność wymiarowa odlewów;
- mniejsza chropowatość powierzchni, umożliwiającą nawet trzykrotne zmniejszenie nadatków na obróbkę skrawaniem lub ich uniknięcie;

- bardziej drobnoziarnista struktura odlewów, a więc polepszenie właściwości fizycznych i mechanicznych;
- wzrost wskaźników wydajności na jednego pracownika oraz z 1 m² powierzchni produkcyjnej odlewni;
- wielokrotne zmniejszenie lub wyeliminowanie obiegu masy rdzeniowej i formierskiej oraz wydatne ograniczenie związanego z tym transportu;
- łatwość zmechanizowania i zautomatyzowania procesu odlewania;
- lepsze warunki pracy.



Rys. 1.10. Odlewanie kokilowe (wg [15]): a) kokila z podziałem po linii krzywej, przedstawiono sposób otwierania kokili i wypychania odlewu (wornika (a)) z jej dolnej części; b) kokila niedzielona (wytrząsana); c) kokila z poziomą powierzchnią podziału

Ograniczeniami odlewania kokilowego są głównie:

- trudności w uzyskaniu odlewów cienkościennych;

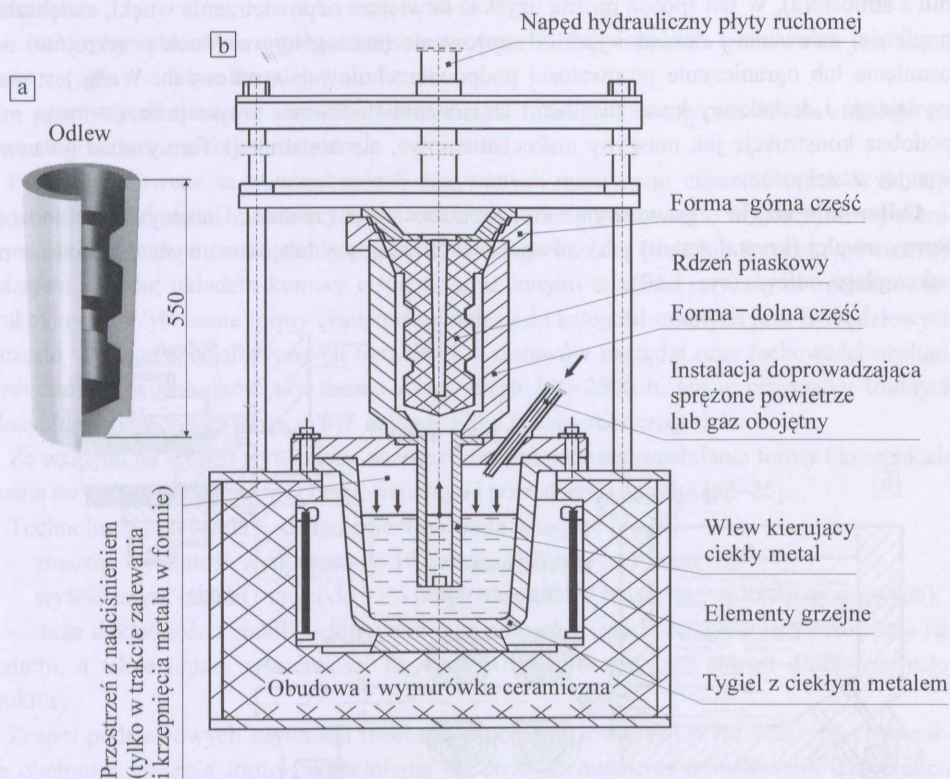
– znaczne naprężenia cieplne powstające w odlewach wskutek hamowania skurczu w niepodatnej formie;

– ograniczona trwałość formy metalowej przy wysokim koszcie jej wytworzenia.

Odlewanie kokilowe jest podstawową technologią w odlewnictwie stopów Al (30–50% ogółu odlewów) oraz stopów Pb, Sn i Cu (5–30%) [4].

Przez zastosowanie obniżonego ciśnienia we wnętrzu formy metalowej czy nadanie jej drgań podczas wypełniania ciekłym metalem lub w czasie krzepnięcia odlewu można uzyskać takie warianty odlewania kokilowego, jak odlewanie niskociśnieniowe, odlewanie przez zasyśanie próżniowe i odlewania do form drgających. Zabiegi te zmierzają do lepszego wypełnienia formy, ale też uzyskania korzystniejszej struktury odlewu (o lepszych właściwościach fizycznych i mechanicznych) [4].

Odlewanie niskociśnieniowe (rys. 1.11), zwane również odlewaniem pod niskim ciśnieniem, jest najczęściej stosowaną metodą odlewania do kokili oprócz odlewania grawitacyjnego. Można jednak wskazać przykłady stosowania tej technologii w przypadku form jednorazowych (patrz tab. 1.1) – odlewania do formy piaskowej lub pełnej.



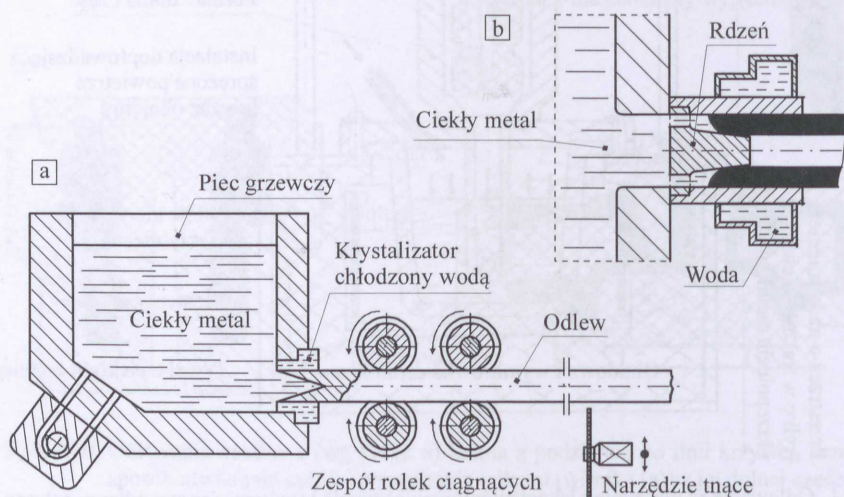
Rys. 1.11. Odlewanie w maszynie niskociśnieniowej: a) wygląd wykonywanego odlewu osłony; b) schemat urządzenia do odlewania

Odlewanie niskociśnieniowe polega na zapełnieniu formy metalem przemieszczanym z tygla pieca podgrzewczego, wewnątrz którego panuje niewielkie nadciśnienie gazu, w granicach 0,10–0,17 MPa. Wskutek parcia wywieranego przez powietrze lub gaz obojętny (zwykle azot N_2 , czasem SO_2 dla stopów Mg) na powierzchnię ciekłego stopu następuje jego płynięcie do wnęki formy znajdującej się nad piecem podgrzewczym. Metal doprowadzony do kokili krzepnie w warunkach zwiększonego ciśnienia, co umożliwia zasilenie odlewu w czasie jego krzepnięcia i kompensuje skurcz objętościowy stopu [22–25].

Do podobnych metod, z punktu widzenia wartości nadciśnienia, można zaliczyć **odlewanie z przeciwcisnieniem**. Cechą charakterystyczną tej technologii jest wprowadzanie ciekłego metalu do wnęki formy wypełnionej uprzednio powietrzem lub innym gazem. Zalewanie odbywa się pod ciśnieniem wyższym od ciśnienia gazu w formie – na krzepnący metal wywiera się nadciśnienie rzędu kilku MPa, ale o różnicy nadciśnienia powodującej wypełnienie wnęki formy i odwzorowanie odlewu.

Stosowana jest również metoda **odlewania próżniowo-ciśnieniowego** – wypełniania ciekłym metalem wnęki formy, w której to wnęce wytworzono obniżone ciśnienie (w porównaniu z atmosferą). W ten sposób można uzyskać łatwiejsze odpowietrzenie wnęki, zwiększenie prędkości zalewania i dokładniejsze odwzorowanie (szczególnie cienkich przekrojów) oraz usunięcie lub ograniczenie porowatości podpowierzchniowej w odlewach. Wadą jest niska wydajność i dodatkowy koszt instalacji. Urządzenia stosowane w tym procesie mogą mieć podobną konstrukcję jak maszyny niskociśnieniowe, ale konstrukcja formy musi gwarantować jej szczelność.

Odlewanie ciągłe – grawitacyjne wypełnianie ciekłym metalem intensywnie chłodzonej formy trwałej (krystalizatora) przy równoczesnym ciągłym lub okresowym usuwaniu z niej zakrzepłego odlewu (rys. 1.12).



Rys. 1.12. Odlewanie ciągłe w układzie poziomym: a) pręta; b) rury z użyciem rdzenia metalowego zamontowanego w osi krystalizatora

W wyniku zastosowania krystalizatora o odpowiednio zaprojektowanym kształcie wewnętrznym wykonuje się odlewy o różnych przekrojach: pręty (rys. 1.12a), wałki, rury (rys. 1.12b) oraz inne kształtowniki, a także blachy o stałym przekroju i znacznej długości (wykonywany odlew wielokrotnie przekracza pojemność i długość formy/krystalizatora). W tej metodzie stosowane jest też odlewanie półciągle. Jest ono oparte na podobnej zasadzie, jednak wytwarzany odlew charakteryzuje się ograniczoną długością (przerywane wlewanie), dzięki czemu nie ma potrzeby okresowego jego przecinania, jak w przypadku odlewania ciągłego.

Rozwiązaniem najczęściej spotykanym w odlewniach jest odlewanie ciągłe w układzie poziomym (rys. 1.12), jakkolwiek stosuje się też urządzenia do odlewania w układzie pionowym [4, 22].

Odlewanie ciśnieniowe – wywieranie na ciekły metal doprowadzany do wnętrza formy trwałej (formy ciśnieniowej) wysokiego ciśnienia wynoszącego 2–300 MPa (rys. 1.13). Wielkość pola sił działających na metal w czasie kształtowania odlewu, wyrażona za pomocą ciśnienia, może być dowolnie zmienna w czasie wypełniania formy i krzepnięcia [22–25].

Z technologicznego punktu widzenia podstawą klasyfikacji maszyn ciśnieniowych jest podział na:

- **maszyny ciśnieniowe gorącomorowe** (rys. 1.13a) – komora prasowania jest zanurzona w tyglu z ciekłym metalem;
- **maszyny ciśnieniowe zimnokomorowe** (rys. 1.13b) – komora prasowania znajduje się poza zbiornikiem z ciekłym metalem.

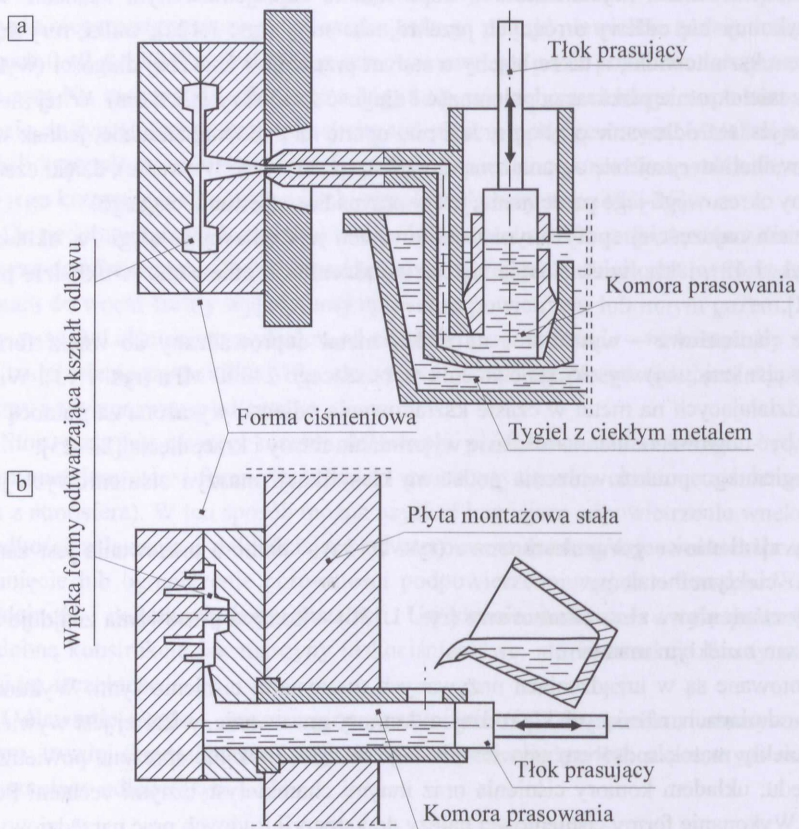
Formy montowane są w urządzeniach nazywanych maszynami ciśnieniowymi. Wykonuje się je w wielu odmianach, różniących się rodzajem komory prasowania, w której jest wywierany nacisk na ciekły metal; sposobem wywierania tego nacisku (tłok lub sprężone powietrze); rodzajem napędu; układem komory ciśnienia oraz innymi charakterystycznymi cechami konstrukcyjnymi. Wykonanie formy ciśnieniowej należy do kategorii trudnych prac narzędziowych – często wymaga specjalistycznych obrabiarek i zestawów narzędzi oraz fachowości obsługi. Przeważnie pracochłonność wykonania formy sięga 100–2500 h, ale w przypadku trudnych i dużych oprzyrządowań mogą to być nakłady kilku tysięcy roboczogodzin.

Ze względu na sposób wywierania nacisku na metal podczas zapelniania formy i krzepnięcia można też wyodrębnić maszyny bezpośredniego i pośredniego nacisku [22–25].

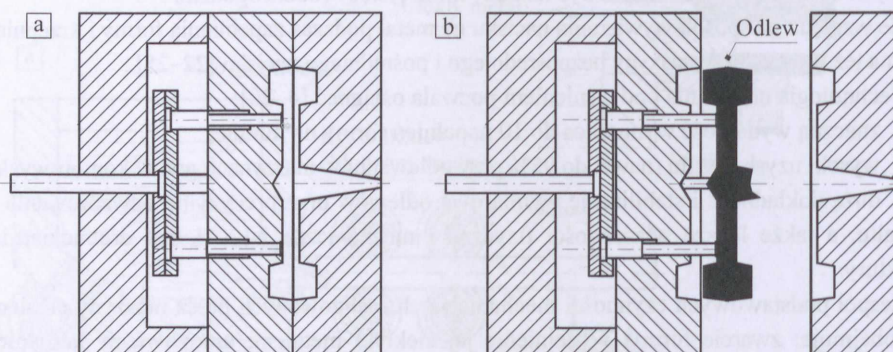
Technologia odlewania pod ciśnieniem pozwala osiągnąć [4, 20]:

- znaczną wydajność wynoszącą do 10 napełnień formy na minutę;
- wysoki uzysk metalu (nawet do 95% przy odlewaniu w maszynach gorącomorowych);
- dużą dokładność i stabilizację wymiarową odlewów oraz precyzyjne odwzorowanie ich kształtu, a także lepsze właściwości fizyczne i mechaniczne jako skutek drobnoziarnistej struktury.

Zespół podstawowych czynności mechanicznych realizowanych przez maszyny ciśnieniowe obejmuje: zwanie formy; wypełnienie jej ciekłym metalem; umożliwienie krzepnięcia metalu w określonym czasie, a także regulowania szybkości stygnięcia; otwarcie formy; usunięcie rdzeni oraz odlewu z formy. W celu zapobiegania deformacji lub pękaniu odlewu podczas jego usuwania z formy stosuje się system wielopunktowego wypychania (rys. 1.14), działający na podobnej zasadzie jak w kokilach (patrz rys. 1.8a).

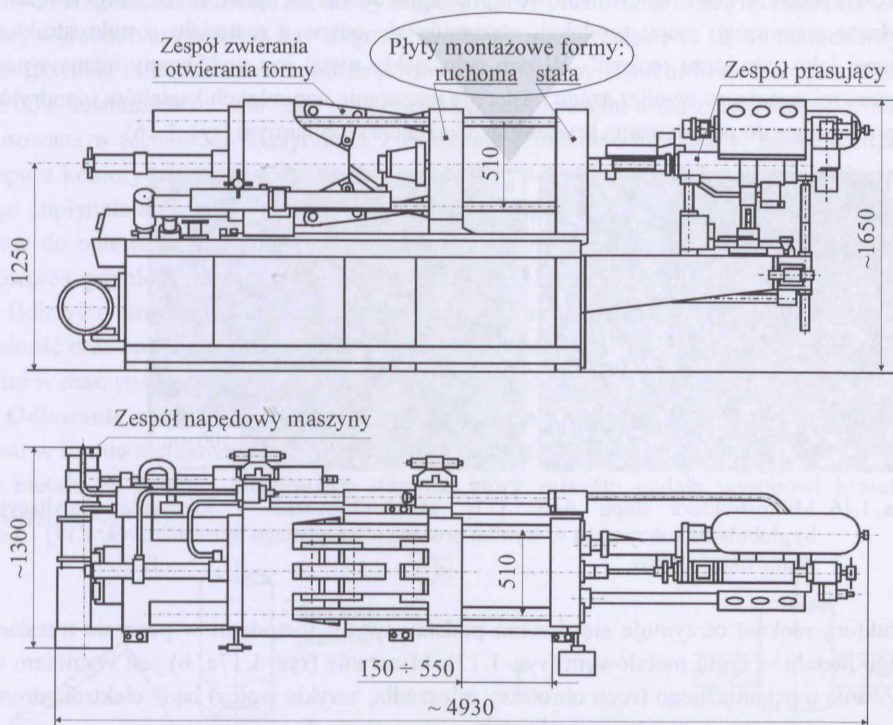


Rys. 1.13. Zasada działania maszyny ciśnieniowej: a) z gorącą komorą prasowania; b) z zimną poziomą komorą prasowania



Rys. 1.14. Forma maszyny ciśnieniowej (rys. 1.13a): a) zwarta (przed wypełnieniem ciekłym metalem); b) rozwarta (po zakrzepnięciu odlewu) – wypchnięcie odlewu z wnętrza formy z użyciem zespołu wypychaczy

Maszyny ciśnieniowe z zimną poziomą komorą prasowania, ze względu na swoje zalety w porównaniu z innymi typami maszyn, są obecnie najczęściej stosowane [22–25]. Przykładowy schemat takiej maszyny, ze wskazaniem głównych zespołów pozwalających na wykonanie podstawowych jej czynności, przedstawia rys. 1.15.



Rys. 1.15. Maszyna ciśnieniowa z zimną poziomą komorą prasowania firmy Bühler H-160B-D2 – wskazano miejsce montażu formy ciśnieniowej

Odlewanie ciśnieniowe jest podstawowym procesem technologicznym zachodzącym podczas odlewania stopów Zn (ponad 95% ogółu wykonywanych odlewów), stopów Al (35–50% odlewów), stopów Mg (ponad 90% odlewów), stopów Cu (kilkanaście procent) oraz stopów Sn i Pb (od kilku do kilkunastu procent). W bardzo ograniczonym stopniu podejmuje się też próby odlewania ciśnieniowego stopów Fe, Ag i Ti, głównie ze względu na małą trwałość form [4].

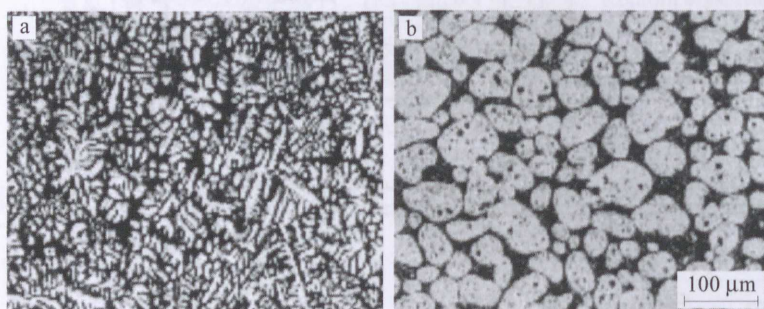
Trwałość form wykonanych ze stali narzędziowej CrMo przy odlewaniu stopów Pb, Sn i Zn sięga setek tysięcy zalań, a nawet ponad miliona. Przy odlewaniu stopów Al lub Mg wartość ta dochodzi do 100 tysięcy zalań, a przy odlewaniu stopów Cu nie przekracza 10 tysięcy zalań [4].

Odlewanie tiksotropowe (odlewanie w stanie półstałym) – wykonanie odlewu w formie ciśnieniowej ze stopu znajdującego się w stanie stało-ciekłym (w zakresie temperatury likwidus–solidus). Tą metodą wytwarza się wyroby ze stopów Al, Mg i Cu, przy czym muszą one się charakteryzować dużym zakresem temperatury krzepnięcia [23, 26].

Odlewanie tiksotropowe składa się z dwóch etapów:

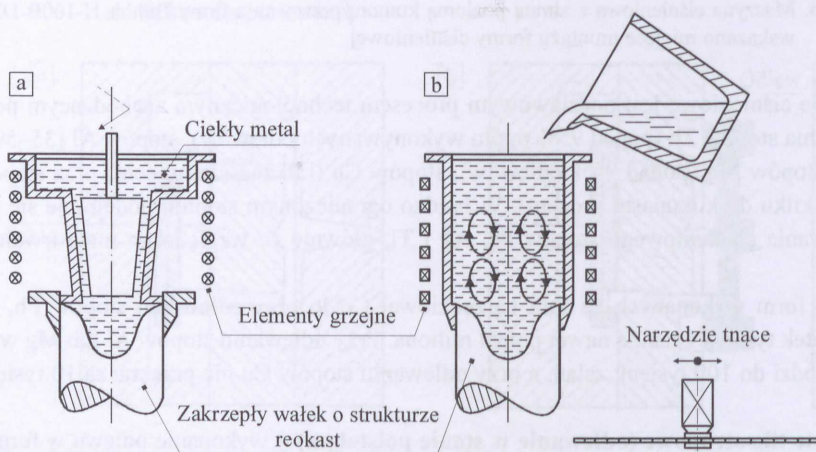
1. Otrzymania materiału o specjalnej strukturze. Zwykle odlew ma kształt wałka.
2. Wykonania odlewu z wcześniej przygotowanego półwyrobu (wałka) po ogrzaniu go do temperatury w zakresie likwidus–solidus. W procesie odlewania zwykle stosowane są zimnokomorowe, poziome maszyny ciśnieniowe o przekonstruowanym systemie wtryskowym [23].

Podczas pierwszego etapu produkcji otrzymuje się odlew z materiału o mikrostrukturze określanej jako „struktura reokast”. W tym celu ciekły metal jest poddawany intensywnemu procesowi mieszania, w wyniku czego następuje niszczenie naturalnych kształtów (dendrytów) [21], prowadzące do powstawania kryształów o kształcie globularym (rys. 1.16).



Rys. 1.16. Mikrostruktura stopu Al-Si [27]: a) dendrytyczna – odlewanie grawitacyjne; b) globularna (otrzymana w wyniku procesu intensywnego mieszania, rys. 1.17) – odlewanie tiksotropowe

Strukturę reokast otrzymuje się dwoma podstawowymi metodami w procesie mieszania ciekłego metalu w tyglu metalowym (rys. 1.17). Mieszanie (rys. 1.17a, b) jest wynikiem oddziaływania mechanicznego (ruch obrotowy mieszadła, zwykle walca) bądź elektrohydrodynamicznego (w cewce wzbudza się pole elektromagnetyczne).

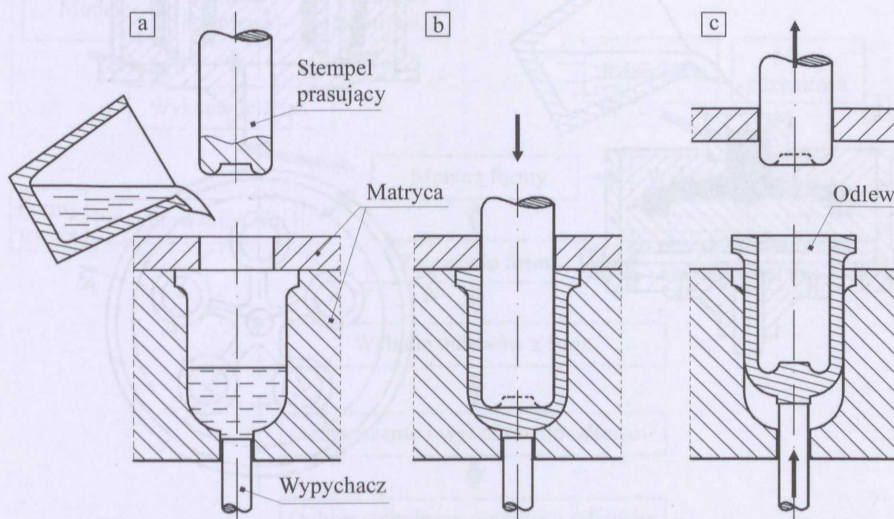


Rys. 1.17. Otrzymywanie struktury reokast w odlewie wałka ze stopu Al odlewanej metodą ciągłą (wg [27]): a) metoda mieszania mechanicznego; b) metoda mieszania elektrohydrodynamicznego

Górna część tygla (rys. 1.17) ma temperaturę wyższą od temperatury topienia stopu, a dolna jego część jest nagrzewana do temperatury w przedziale krzepnięcia (likwidus–solidus) mieszanego stopu. Częściowo zakrzepnięty stop wypływa w sposób ciągły przez dolny otwór tygla nadający mu kształt wałka. Po całkowitym zakrzepnięciu jest cięty na odcinki, których długość dostosowuje się do wymagań komory prasowania maszyny ciśnieniowej oraz masy wyrobu. Następnie odcięty fragment wałka ponownie nagrzewa się do temperatury solidus–likwidus i umieszcza w komorze prasowania maszyny ciśnieniowej. Maszyna ciśnieniowa do odlewania tiktotropowego ma mniejszą prędkość ruchu tłoka z porównaniu z maszyną stosowaną w technologii klasycznej i zwiększone ciśnienie odlewania w fazie przetłaczania stopu z komory prasowania do wnęki formy. Wskutek działania tłoka na materiał zachodzi jego „upłynnienie”, co dodatkowo ułatwia proces wypełniania wnęki formy. Stopy przygotowane do odlewania zgodnie z opisaną technologią zachowują dobrą rzadkopląnność nawet wówczas, gdy ilość fazy stałej osiąga wartość 50% [21].

Odlewy o strukturze reokast charakteryzuje większa odporność na ścieranie, lepsza obrabialność oraz korzystniejsze właściwości mechaniczne w porównaniu z odlewami wytwarzanymi w maszynach ciśnieniowych z zastosowaniem technologii klasycznej [21].

Odlewanie z doprasowaniem (prasowanie metalu w stanie ciekłym) – wykonanie odlewu w formie metalowej/matrycy polegające na prasowaniu ciekłego, a następnie krzepnącego metalu za pomocą metalowego stempla, który zarazem nadaje wyrobowi kształt wewnętrzny (rys. 1.18).

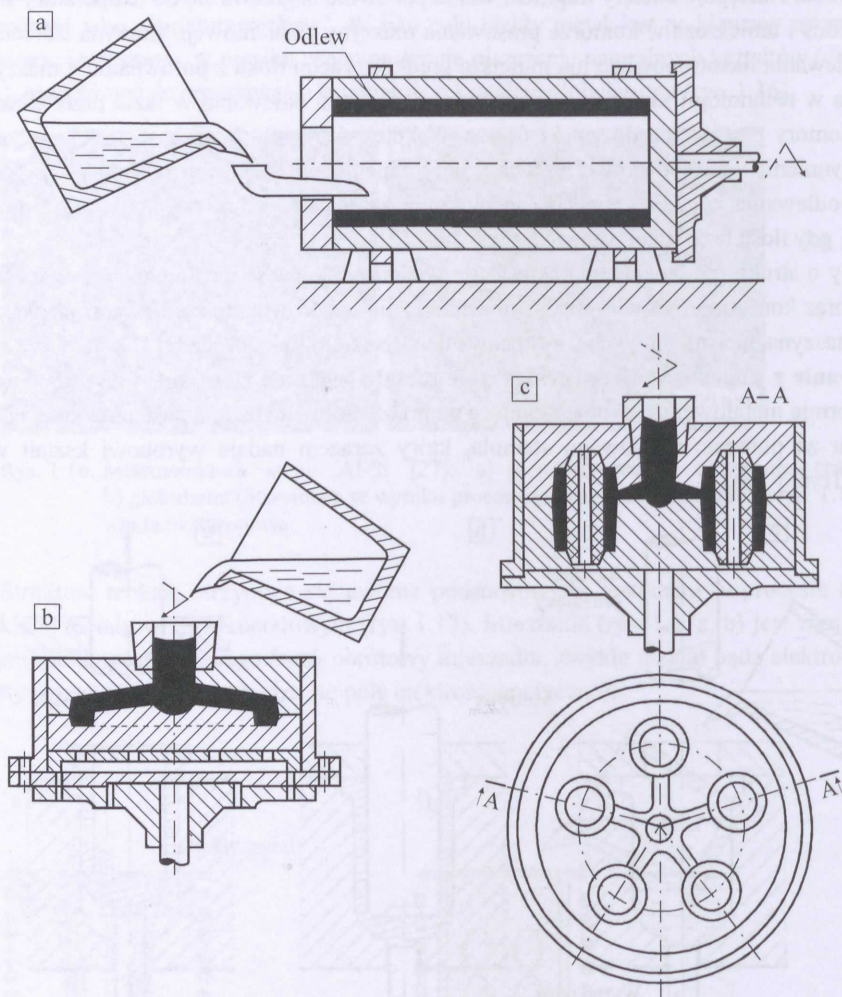


Rys. 1.18. Wykonanie oprawy cylindrowej ze stopu Al metodą prasowania w stanie ciekłym: a) wlanie metalu do formy/matrycy; b) prasowanie krzepnącego stopu; c) wypchnięcie odlewu z formy

Porcja metalu zalewana do formy musi być dokładnie odmierzona. Ciśnienie prasowania jest zbliżone do wartości stosowanych przy odlewaniu ciśnieniowym. W tym procesie, uważanym za pośredni między procesami odlewania a obróbki plastycznej metali, otrzymuje się

wyroby o właściwościach podobnych do właściwości wyrobów przerabianych plastycznie lub lepszych, przy istotnie mniejszym koszcie wytworzenia [4, 8].

Odlewanie odśrodkowe – wypełnianie ciekłym metalem formy trwałej (wirującej) z wykorzystaniem siły odśrodkowej i siły grawitacji w procesie kształtowania i krzepnięcia odlewu (rys. 1.19).



Rys. 1.19. Odlewanie odśrodkowe: a) właściwe o poziomej osi wirowania formy – odlewanie rur; b) półodśrodkowe – odlewanie tarcz; c) pod ciśnieniem odśrodkowym – odlewanie tulei

Rozróżnia się trzy zasadnicze metody odlewania odśrodkowego [1–14, 26]:

1. Odlewanie odśrodkowe właściwe – oś odlewu pokrywa się z osią wirowania formy (rys. 1.19a), przy czym zewnętrzna powierzchnia odlewu przyjmuje kształt wnętrza formy,

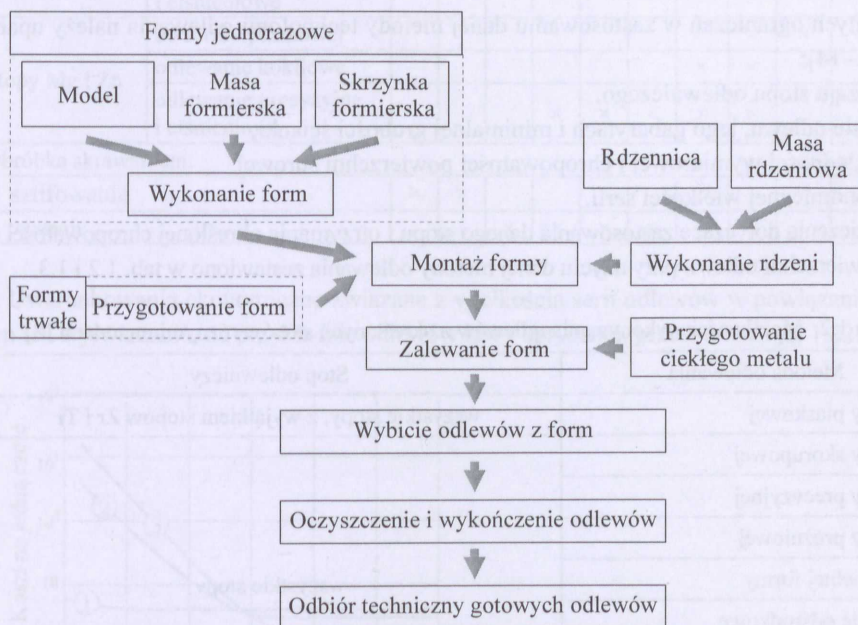
a powierzchnia wewnętrzna jest powierzchnią swobodną (izobaryczną) powstałą w czasie wirowania.

2. Odlewanie półodśrodkowe – oś odlewu pokrywa się z osią wirowania formy (rys. 1.19b), a powierzchnia odlewu jest odtwarzana przez wnękę formy i ewentualnie rdzenie.

3. Odlewanie pod ciśnieniem odśrodkowym – wlew główny znajduje się w osi wirowania (rys. 1.19c), a ciśnienie wywołane siłą odśrodkową wtłacza ciekły metal do wnęk formy, rozłożonych wokół wlewu głównego.

Odlewanie odśrodkowe, w porównaniu z grawitacyjnym, wykazuje liczne zalety analogiczne do zalet odlewania kokilowego, zresztą w części z tych samych powodów – szybszego odprowadzania ciepła przez formę metalową oraz jej wirowania. Są to m.in.: polepszenie właściwości mechanicznych odlewów, zwiększenie ich uzysku i wskaźników wydajności, ograniczenie bądź wyeliminowanie: wad skurczowych i gazowych, wtrąceń niemetalowych, wielkości układu wlewowego, prac formierskich i rdzeniarskich [4].

Proces wytwarzania odlewu, niezależnie od zastosowanej metody odlewania i rodzaju użytego stopu, składa się z szeregu operacji (rys. 1.20) wykonywanych w poszczególnych działach odlewni (formierni, rdzeniarni, wytapialni itd.). Jakość każdej z operacji ma bezpośredni wpływ na końcowe właściwości odlewu (rys. 1.21).



Rys. 1.20. Schemat wytwarzania odlewów [12]

Każda z metod wytwarzania odlewów służy do ich wykonywania jedynie w pewnym zakresie. Stosując niektóre z metod, łatwo jest spełnić wymagania stawiane odlewom, przy innych jest to trudne albo nawet w ogóle niemożliwe. Jednocześnie należy pamiętać, że zwiększanie wymagań co do jakości odlewu prowadzi do wzrostu kosztów wytwarzania (ta

zależność zbliżona jest do funkcji wykładniczej). Jeżeli więc nie ma takiego uzasadnienia wynikającego z analizy warunków eksploatacji odlewu, nie powinno się podwyższać wymagań jakościowych.



Rys. 1.21. Czynniki technologiczne wpływające na właściwości użytkowe odlewu [12]

Głównych ograniczeń w zastosowaniu danej metody technologii odlewania należy upatrywać w [1–14]:

- rodzaju stopu odlewniczego,
- masie odlewu, jego gabarytach i minimalnej grubości ścianki,
- dokładności wymiarowej i chropowatości powierzchni surowej,
- ekonomicznej wielkości serii.

Ograniczenia dotyczące zastosowania danego stopu i otrzymania określonej chropowatości surowej powierzchni odlewu przy użyciu danej metody odlewania zestawiono w tab. 1.2 i 1.3.

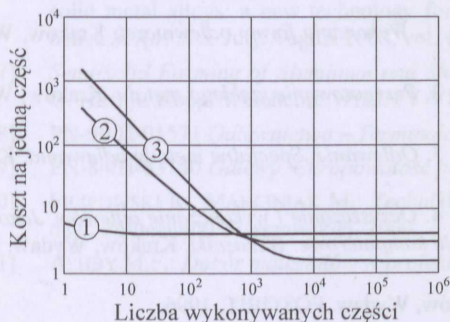
Tabela 1.2. Możliwości wykonywania odlewów z określonych stopów różnymi metodami [8]

Metoda odlewania	Stop odlewniczy
Do formy piaskowej	wszystkie stopy, z wyjątkiem stopów Zr i Ti
Do formy skorupowej	wszystkie stopy
Do formy precyzyjnej	
Do formy próżniowej	
Metoda pełnej formy	
Odlewanie odśrodkowe	
Odlewanie ciągłe	
Prasowanie w stanie ciekłym	
Odlewanie kokilowe	stopy Cu, Al, Mg, rzadziej stopy Zn, Sn, Pb oraz Fe (przede wszystkim żeliwo)
Odlewanie ciśnieniowe	stopy Al, Zn, Mg, rzadziej stopy Cu oraz stopy Sn i Pb

Tabela 1.3. Orientacyjna chropowatość powierzchni odlewów w zależności od rodzaju stopu i metody odlewania oraz przykładowe chropowatości powierzchni wyrobów po obróbce skrawaniem [29, 30]

Materiał odlewu	Metoda odlewania	Chropowatość R_a , μm										
		0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50	100	200
Żeliwo	do formy piaskowej								×	×	×	×
	odlewanie kokilowe							×	×			
	odlewanie precyzyjne						×	×	×			
Staliwo	do formy piaskowej									×	×	×
	odlewanie kokilowe							×	×	×		
	odlewanie precyzyjne					×	×	×	×			
Stopy Al	do formy piaskowej							×	×	×	×	×
	odlewanie kokilowe				×	×	×	×	×	×		
	odlewanie precyzyjne i ciśnieniowe					×	×	×	×			
Stopy Cu	do formy piaskowej								×	×	×	
	odlewanie kokilowe							×	×	×	×	
	odlewanie precyzyjne i ciśnieniowe						×	×	×	×		
Stopy Mg i Zn	do formy piaskowej								×	×	×	×
	odlewanie kokilowe							×	×	×	×	
	odlewanie precyzyjne i ciśnieniowe				×	×	×	×	×			
Obróbka skrawaniem:												
szlifowanie		×	×									
toczenie				×	×	×	×	×				

Uwarunkowania ekonomiczne związane z wielkością serii odlewów w powiązaniu z kosztem ich wytwarzania, na przykładzie odlewów ławy optycznej, przedstawia rys. 1.22.



Rys. 1.22. Koszt wytwarzania odlewu ławy optycznej laboratoryjnego zestawu do laserowej holografii ze stopu Al w zależności od wielkości produkcji [31]; odlewanie: 1 – do formy piaskowej, 2 – kokilowe, 3 – ciśnieniowe

Przy produkcji jednostkowej najtańszą metodą jest wykonanie odlewu w formie piaskowej, chociaż w tym przypadku, ze względu na wymagania wymiarowe, będzie konieczna obróbka mechaniczna wybranych powierzchni. Przy produkcji seryjnej i masowej odlewanie do form trwałych będzie zdecydowanie tańsze. Pomimo droższego oprzyrządowania wzrośnie wydajność i będzie można ograniczyć obróbkę skrawaniem ze względu na większą dokładność wymiarową i gładkość powierzchni surowego odlewu.

1.2. PRZEBIEG ĆWICZENIA

W trakcie ćwiczenia zostaną zaprezentowane i omówione dwa filmy przedstawiające przebieg wytwarzania odlewów żeliwnych i ze stopów aluminium (w formach jednorazowych i trwałych: odlewanie kokilowe oraz ciśnieniowe).

1.3. SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Cel i zakres ćwiczenia.
2. Zdanie relacji z oglądniętych filmów, w tym:
 - zestawienie ważniejszych pojęć stosowanych w odlewnictwie wraz z ich krótką definicją,
 - opis etapów wytwarzania odlewów w formach piaskowych.
3. Wnioski.

LITERATURA

- [1] SKARBIŃSKI M., SKARBIŃSKI J.: *Technologiczność konstrukcji maszyn*. Warszawa, WNT, 1982.
- [2] GÓRNY Z.: *Odlewnictwo metali i stopów*. T. 1. *Wykonanie formy odlewniczej*. Kraków, Wydaw. Instytutu Odlewnictwa, 1996.
- [3] GÓRNY Z.: *Odlewnictwo metali i stopów*. T. 2. *Przygotowanie ciekłego metalu*. Kraków, Wydaw. Instytutu Odlewnictwa, 1997.
- [4] GÓRNY Z.: *Odlewnictwo metali i stopów*. T. 3. *Odlewanie. Specjalne metody odlewania*. Kraków, Wydaw. Instytutu Odlewnictwa, 1997.
- [5] GÓRNY Z.: *Odlewnictwo metali i stopów*. T. 4. *Oczyszczanie i wykańczanie odlewów. Jakość. Koszty i organizacja produkcji. Wspomaganie komputerowe. Wskaźniki*. Kraków, Wydaw. Instytutu Odlewnictwa, 1998.
- [6] TABOR A., RĄCZKA J.S.: *Odlewnictwo*. Kraków, Wydaw. FOTOBIT, 1996.
- [7] TABOR A.: *Techniki wytwarzania – wybrane zagadnienia z odlewnictwa*. Kraków, Wydaw. Politechniki Krakowskiej, 1998.
- [8] PERZYK M., WASZKIEWICZ S., KACZOROWSKI M., JOPKIEWICZ A.: *Odlewnictwo*. Warszawa, WNT, 2000.

- [9] WASZKIEWICZ S., BŁASZKOWSKI K., HARATYM R., PERZYK M.: *Materiały do projektowania oprzyrządowania odlewniczego*. Warszawa, PWN, 1988.
- [10] KOSOWSKI A.: *Zarys odlewnictwa i wytapiania stopów*. Kraków, Wydaw. AGH, 2001.
- [11] KOSOWSKI A.: *Podstawy odlewnictwa*. Kraków, Wydaw. AKAPIT, 2006.
- [12] SZWEYCKER M., NAGOLSKA D.: *Metalurgia i odlewnictwo*. Poznań, Wydaw. Politechniki Poznańskiej, 2002.
- [13] BEELEY P.: *Foundry Technology*. Oxford, Butterworth-Heinemann, 2001.
- [14] KALPAKJIAN S., SCHMID S.R.: *Manufacturing Engineering and Technology*. London, Person Education Ltd., 2006.
- [15] PIEKARSKI B.: *Ćwiczenia laboratoryjne z odlewnictwa*. Szczecin, Wydaw. Politechniki Szczecińskiej, 2006.
- [16] *Wybrane procesy odlewnicze – laboratorium*. Red. M. Cholewa. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej, 2008.
- [17] CZEKAJ E., KARWIŃSKI A., PĄCZEK Z., PYSZ S.: Nowy sposób wytwarzania odlewów precyzyjnych ze stopów miedzi w formach ceramicznych. *AFE* 2012, vol. 12, z. 2, spec. iss., s. 9–16.
- [18] *Postęp nauki o materiałach i inżynierii materiałowej*. Red. M. Hetmańczyk. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej, 2002.
- [19] SIENIAWSKI J.: *Kryteria i sposoby oceny materiałów na elementy lotniczych silników turbiny*. Rzeszów, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 1995.
- [20] ASHBY M.F., JONES D.R.H.: *Materiały inżynierskie; właściwości i zastosowanie*. Warszawa, WNT, 1995.
- [21] JANKOWSKI W., MOCEK J.: *Technologia wytwarzania odlewów z zastosowaniem modeli ze spienionego polistyrenu*. Wydział Odlewnictwa AGH, Pracownia Technologii Formy, <http://home.agh.edu.pl/>, dostęp 30.11.2013.
- [22] BIAŁOBRZESKI A.: *Odlewnictwo ciśnieniowe*. Warszawa, WNT, 1992.
- [23] BIAŁOBRZESKI A.: *Technologie specjalne odlewania ciśnieniowego*. Kraków, Wydaw. Instytutu Odlewnictwa, 1998.
- [24] DAŃKO J.: *Maszyny i urządzenia do odlewania pod ciśnieniem*. Kraków, Wydaw. AGH, 2000.
- [25] BONDAREK Z., CHROMIK S.: *Odlewnictwo ciśnieniowe metali i formowanie tworzyw sztucznych*. Kraków, Wydaw. AKAPIT, 2006.
- [26] IVANCHEW L., WILKINS D., GOVENDER G., DU PREEZ W., BEAN R.: Rheo-processing of semi-solid metal alloys: a new technology for manufacturing automotive and aero-space components. *S. Afr. J. S.* July/August 2008, vol. 104, s. 257–259.
- [27] *Semi-solid Forming of Aluminum and Steel. Thixoforming: Semi-solid Metal Processing*. Ed. G. Hirt, R. Kopp. Weinheim, WILEY-VH Verlag GmbH & KgaA, 2001.
- [28] PN-90/H-01571 *Odlewnictwo – Terminologia podstawowa*.
- [29] PN-84/H-83140 *Odlewy. Chropowatość powierzchni surowej*.
- [30] FILIPOWSKI R., MARCINIAK M.: *Techniki obróbki mechanicznej i erozyjnej*. Warszawa, Wydaw. Politechniki Warszawskiej, 2000.
- [31] ASHBY M.F.: *Dobór materiałów w projektowaniu inżynierskim*. Warszawa, WNT, 1998.

Ćwiczenie 2

ANALIZA TECHNOLOGICZNOŚCI KONSTRUKCJI ODLEWU

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z:

- **zasadami konstruowania odlewanych części maszyn i urządzeń;**
- **metodyką oceny jakości zaprojektowania odlewów z punktu widzenia technologii ich wytwarzania.**

2.1. WPROWADZENIE

2.1.1. OGÓLNE ZASADY TECHNOLOGICZNOŚCI ODLEWÓW

Analiza technologiczności konstrukcji odlewu jest podstawową czynnością w fazie przygotowania jego produkcji. Polega na uzgodnieniu przedstawionej przez konstruktora koncepcji budowy odlewu oraz wymagań dotyczących jego użytkowania z racjonalnie wybranym przez technologa odlewnika sposobem jego wykonania [1, 2].

Ustalenie kształtu i warunków technicznych, które ma spełnić odlew, należy w zasadzie do konstruktora. Ostateczny kształt odlewu zależy jednak również od technologa odlewnika, który określa wielkość naddatków na obróbkę, naddatków technologicznych i pochyłeń ścian odlewów, miejsce (miejsca) doprowadzenia ciekłego metalu, wielkość nadlewów itd. Często ze względów technologicznych lub ze względu na poprawę jakości odlewu technolog odlewnik może zaproponować zmianę metody wykonania odlewu wybranej przez konstruktora. Na przykład zamiast odlewania w formie piaskowej – odlewanie kokilowe. Zwykle taka zmiana wymaga korekty kształtu odlewu [1–9].

Do najważniejszych zagadnień rozpatrywanych podczas analizy technologiczności konstrukcji odlewu należą [1–9]:

- łatwość wykonania formy odlewniczej, a w tym: dobór powierzchni podziału, naddatków technologicznych i pochyłeń odlewniczych, łatwość wyjęcia modelu z formy bez stosowania części luźnych, a w przypadku użycia formy metalowej – łatwość usuwania odlewu z formy oraz łatwość i pewność montażu rdzeni w formie;
- poprawność i bezbłądność zapełnienia formy ciekłym metalem;
- zapobieganie wadom skurczowym, jak jamy i rzadziny skurczowe;
- zapobieganie odkształcaniu i pękaniu odlewu w trakcie jego stygnięcia w formie;
- łatwość i niski koszt oczyszczania odlewu oraz jego obróbki mechanicznej;
- oszczędność materiału.

Poniżej przedstawiono wybrane [1–13] rozwiązania ukształtowania odlewów, opatrując je odpowiednim komentarzem odnoszącym się do poszczególnych zagadnień analizowanych podczas projektowania odlewanych części maszyn i urządzeń. Przykłady ograniczono przede wszystkim do konstrukcji odlewów żeliwnych wytwarzanych w formach piaskowych.

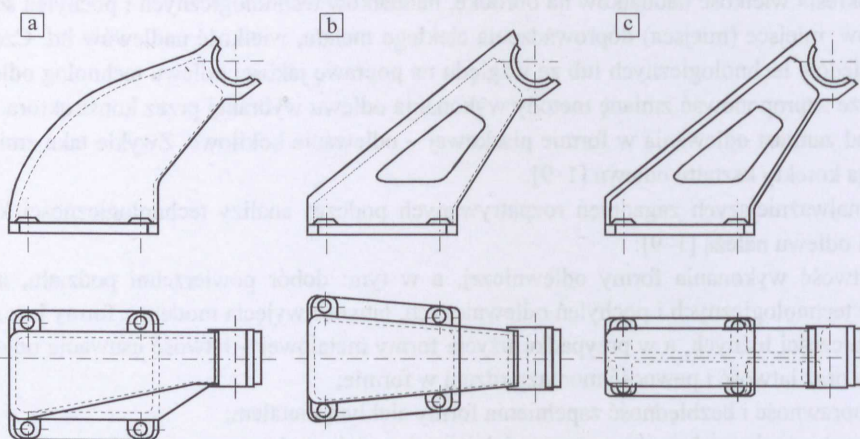
Przedstawione rozwiązania konstrukcyjne są jedynie przykładami ilustrującymi fragmenty analizy konstrukcji odlewu. W zamkniętym układzie – który tworzą: warunki pracy odlewu, konstrukcja odlewu, konstrukcja oprzyrządowania odlewniczego, wykonanie surowego odlewu, oczyszczanie i wykańczanie odlewu – dokonywanie na którymkolwiek etapie analizy zmian w konstrukcji odlewu musi mieć wpływ na pozostałe elementy układu. Stąd zmiana konstrukcji elementu w celu uproszczenia procesu jego formowania czy oczyszczania nie zawsze może być zrealizowana ze względu na ograniczenia wynikające np. z warunków montażu czy eksploatacji odlewów.

Problematykę zasad konstruowania odlewanych części maszyn i urządzeń wszechstronnie przedstawiono w pracach [5–8]. Zwykle podczas konstruowania odlewów rozpatruje się czynniki przedstawione poniżej.

2.1.2. PROJEKTOWANIE ODLEWÓW UWZGLĘDNIAJĄCE SPOSÓB FORMOWANIA

W celu zaprojektowania odlewu pod kątem łatwości formowania i minimalizowania kosztów wykonania oprzyrządowania odlewniczego (modelu, rdzennicy itp.) oraz formy należy przestrzegać następujących reguł:

1. Kształt i wymiary obrysu odlewu powinny być możliwie małe, a jego budowa zwarta, co będzie skutkowało małymi wymiarami skrzynki formierskiej i małą pracochłonnością procesu formowania. Ze względu na łatwość obróbki mechanicznej modeli, rdzennic czy odlewu jest pożądaną, aby zarówno zewnętrzna, jak i wewnętrzna część obrysu odlewu miała kształt zespołu prawidłowych figur geometrycznych (rys. 2.1).

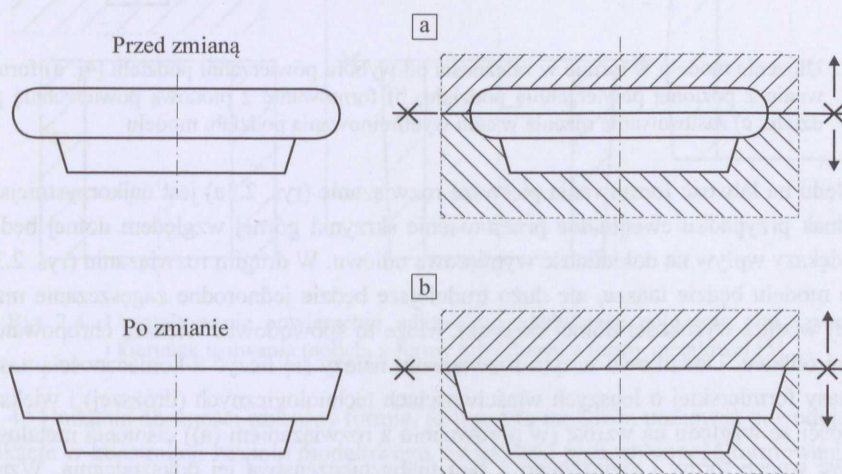


Rys. 2.1. Podstawa łożyska [5, 6]: a) rozwiązanie skrzynkowe o obrysie krzywoliniowym; b) rozwiązanie skrzynkowe o obrysie prostoliniowym; c) zmiana przekroju zamkniętego na otwarty dwuteowy

Wykonanie drewnianego modelu i rdzennicy o obrysie krzywoliniowym (rys. 2.1a) jest w przybliżeniu o 30% droższe niż wykonanie tych elementów o obrysie prostoliniowym (rys. 2.1b). Zmiana przekroju zamkniętego na otwarty dwuteowy (rys. 2.1c) pozwala nie tylko na ok. dwukrotne zmniejszenie pracochłonności, lecz również na oszczędność (do 30%) zużycia drewna (eliminuje rdzennicę). Przy wykonaniu modelu metalowego i rdzennicy różnica kosztów będzie jeszcze większa.

Istotnym ograniczeniem w stosowaniu przekrojów otwartych w konstrukcjach odlewów są zmienne obciążenia mechaniczne często występujące w trakcie eksploatacji. W takich warunkach pracy odlewy o zamkniętych przekrojach poprzecznych (np. rurowych czy skrzynkowych) mają większą wytrzymałość (postaciową) niż odlewy o przekrojach otwartych (np. teowych czy dwuteowych),

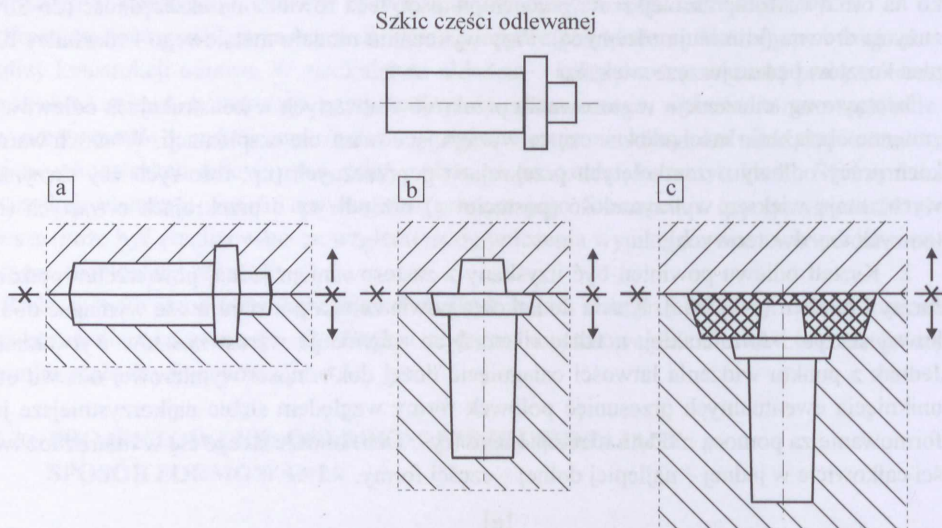
2. Kształt odlewu powinien być uzyskany z zastosowaniem jednej powierzchni podziału formy i modelu (rys. 2.2a). Każda dodatkowa powierzchnia podziału może wymagać dodatkowej skrzynki formierskiej, a także rdzenia, co spowoduje wzrost kosztów wytwarzania. Jednak z punktu widzenia łatwości osiągnięcia dużej dokładności wymiarowej odlewu oraz uniknięcia ewentualnych przesunięć połówek formy względem siebie najkorzystniejsze jest formowanie za pomocą modelu niedzielnego (rys. 2.2b) mieszczącego się w miarę możliwości całkowicie w jednej – najlepiejj dolnej – części formy.



Rys. 2.2. Zmiana kształtu odlewu umożliwiającą formowanie z użyciem modelu niedzielnego [3, 5]: a) formowanie z modelem dzielnym; b) formowanie z modelem niedzielnym

Zastosowanie modelu niedzielnego (rys. 2.2b) zmniejsza koszt wykonania modelu, ale też poprawia właściwości mechaniczne oraz szczelność odlewu w wyniku wzrostu ciśnienia metalostatycznego w formie. Jednak zmiana kształtu części modelu powoduje wzrost kosztów wytwarzania odlewu o dodatkowy koszt obróbki mechanicznej, o ile wymagać tego będą warunki eksploatacji odlewu. Tak więc, analizując możliwości upraszczania procesu formowania i obniżania kosztów omodelowania, należy jednocześnie każdorazowo dążyć do projektowania odlewów o wymiarach zbliżonych do wymiarów gotowego wyrobu, co powoduje istotne obniżenie kosztu obróbki mechanicznej. W produkcji seryjnej i masowej ma to szczególne znaczenie.

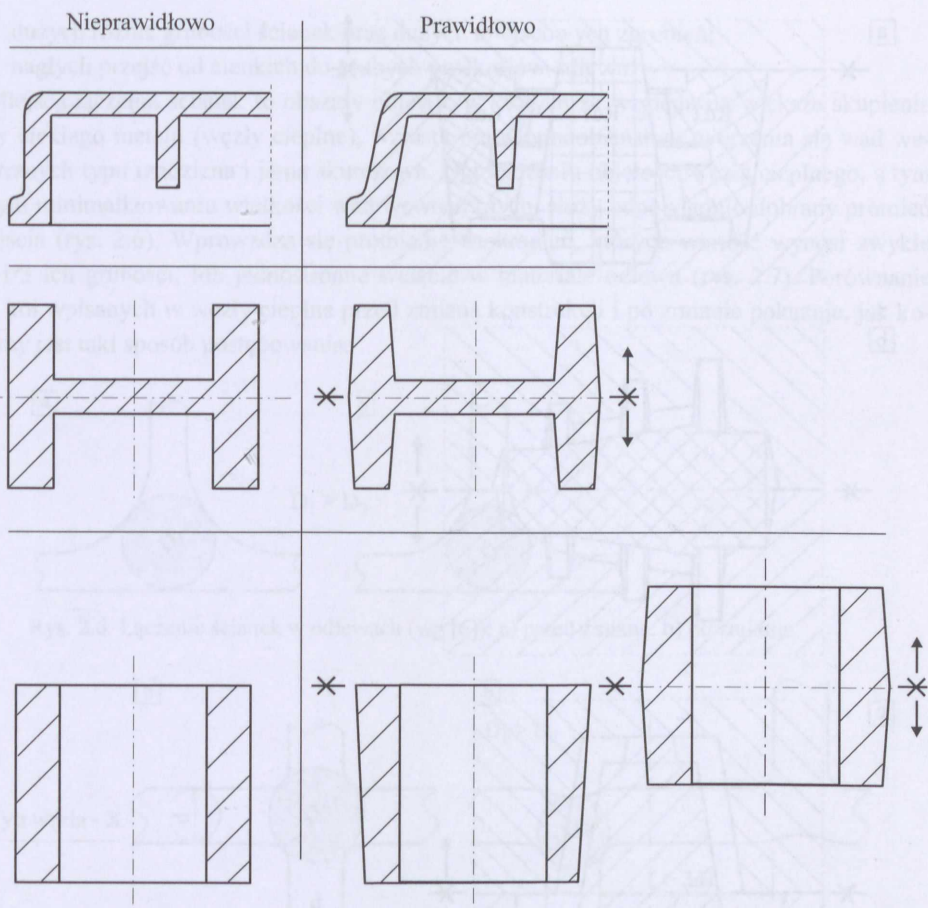
W przypadku odlewów umożliwiających zastosowanie jednej, płaskiej powierzchni podziału decyzja o sposobie jej poprowadzenia również wymaga analizy. Obrazuje to przykład formowania smukłego trzpienia z kołnierzem (rys. 2.3).



Rys. 2.3. Ułożenie modelu w formie w zależności od wyboru powierzchni podziału [4]: a) formowanie z poziomą powierzchnią podziału; b) formowanie z pionową powierzchnią podziału; c) zastosowanie rdzenia w celu wyeliminowania podziału modelu

Ze względu na łatwość formowania pierwsze rozwiązanie (rys. 2.3a) jest najkorzystniejsze. W tym jednak przypadku ewentualne przestawienie skrzynki górnej względem dolnej będzie miało największy wpływ na dokładność wymiarową odlewu. W drugim rozwiązaniu (rys. 2.3b) wykonanie modelu będzie tańsze, ale dużo trudniejsze będzie jednorodne zagęszczanie masy formierskiej wzdłuż wysokości dolnej skrzynki. Może to spowodować większą chropowatość powierzchni odlewu. Dodatkowo w tym rozwiązaniu należy się liczyć z koniecznością zastosowania masy formierskiej o lepszych właściwościach technologicznych (droższej) i większej wytrzymałości ze względu na wzrost (w porównaniu z rozwiązaniem (a)) ciśnienia metalostatycznego we wnętrzu formy i związanego z tym niebezpieczeństwa jej odkształcania. Wzrost ciśnienia we wnętrzu formy będzie sprzyjał polepszeniu właściwości mechanicznych i fizycznych odlewu. Rozwiązanie trzecie (rys. 2.3c) jest dla jakości odlewu najkorzystniejsze. Najwyższej dokładności wymiarowej będzie towarzyszyła dalsza poprawa właściwości użytkowych odlewu. Jednak ze względu na całkowity koszt wytwarzania jest to rozwiązanie najdroższe (dodatkowy koszt rdzennicy i rdzenia, większe zużycie masy formierskiej, największa pracochłonność itd.).

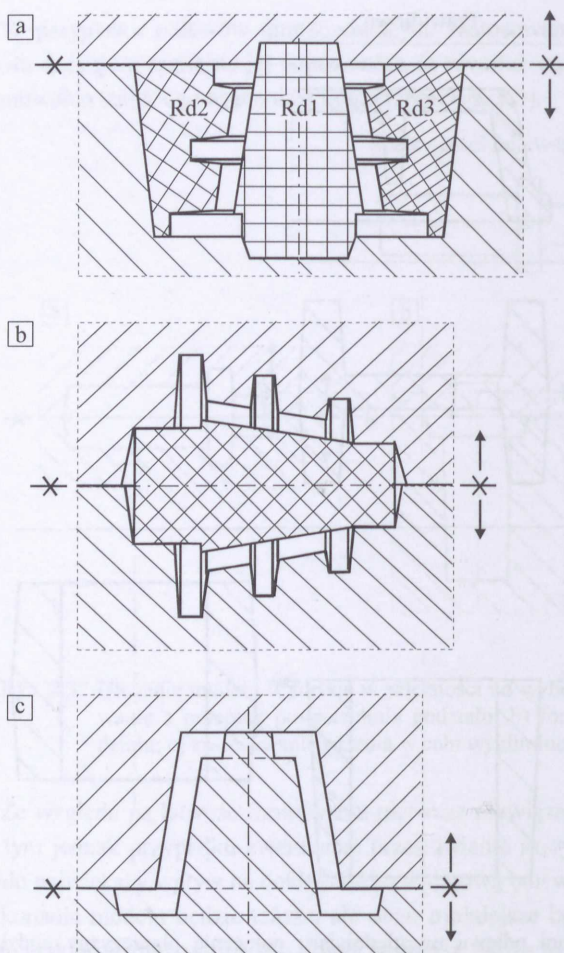
3. Wprowadzania pochyleń odlewniczych na bocznych powierzchniach odlewu w celu ułatwienia jego wyjmowania z formy odlewniczej. Pochylenia odlewnicze powinny być, w miarę możliwości, zwymiarowane na rysunku odlewu. Wynika stąd, że konstruktor odlewu powinien wstępnie zdecydować o sposobie jego formowania (o położeniu powierzchni podziału formy oraz kierunku wyjmowania modelu). Wynikiem takiego działania będzie odpowiednie ukształtowanie określonych powierzchni odlewu (rys. 2.4).



Rys. 2.4. Ukształtowanie powierzchni odlewu uwzględniające położenie płaszczyzny podziału i kierunek usuwania modelu z formy lub odlewu z formy metalowej [5]

4. Unikania obecności rdzeni w formie, jeśli jest to możliwe, ponieważ powodują one komplikacje w konstrukcji zespołu modelowego, zwiększają pracochłonność formowania i oczyszczania oraz mogą wpływać niekorzystnie na dokładność wymiarową odlewów.

W praktyce technologii formy w większości przypadków wyeliminowanie rdzeni z procesu formowania jest trudne, a często niemożliwe. Natomiast zmniejszenie ilości stosowanych rdzeni przez np. zmianę powierzchni podziału jest dość często stosowaną praktyką (rys. 2.5a, b). Taka zmiana, choć obniża koszt wytwarzania odlewu, z reguły nie sprzyja zachowaniu dużej dokładności jego wymiarów i jakości. Jednocześnie całkowite wyeliminowanie rdzeni/rdzenia powoduje zbyt duże zmiany w konstrukcji odlewu (rys. 2.5c), co zwykle nie znajduje akceptacji konstruktora, pomimo zdecydowanie najniższych kosztów wytwarzania wyrobu.



Rys. 2.5. Wpływ kształtu i ułożenia odlewu w formie na liczbę rdzeni potrzebnych przy formowaniu [9]: a) formowanie w dolnej skrzynce z niedzielnego modelu z częścią luźną z użyciem trzech rdzeni (rdzeń zewnętrzny, pierścieniowy złożony z dwóch części (Rd2 + Rd3) i rdzeń wewnętrzny Rd1); b) formowanie z modelu dzielonego z użyciem jednego rdzenia; c) formowanie z uproszczonego modelu bez użycia rdzeni

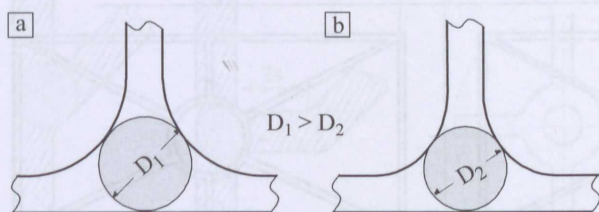
2.1.3. KONSTRUKCJA ODLEWU ZE WZGLĘDU NA POŁĄCZENIA ŚCIANEK

Charakterystyczną cechą odlewów jest niejednorodność ich struktury, a w konsekwencji różnice we właściwościach mechanicznych materiału odlewu w różnych jego miejscach. Zadaniem konstruktora jest więc takie ukształtowanie odlewu, by te różnice były jak najmniejsze. W tym celu w trakcie projektowania odlewów należy unikać:

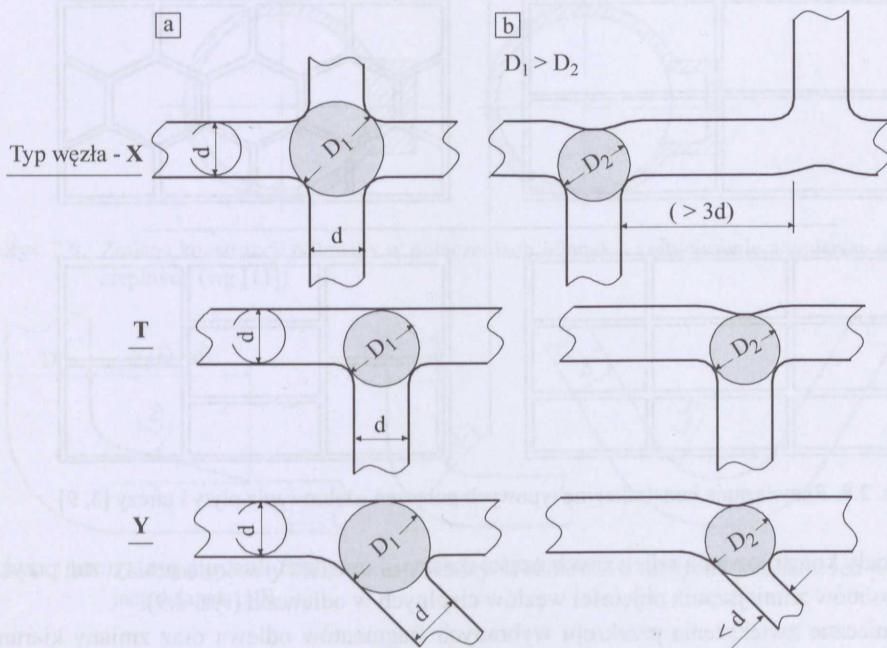
- nieuzasadnionego pogrubiania ścianek odlewu bez poparcia tej decyzji odpowiednimi obliczeniami wytrzymałościowymi i bez uwzględnienia istniejących ograniczeń technologicznych (głównie zalecanych dla każdego rodzaju stopu grubości ścianek odlewu w zależności od przyjętej technologii odlewania);

- dużych różnic grubości ścianek oraz dużych miejscowych zgrubień;
- nagłych przejść od cienkich do grubych przekrojów odlewu.

Miejsca łączenia ścianek to obszary odlewu, w których ze względu na większe skupienie masy ciekłego metalu (węzły cieplne), wzrasta prawdopodobieństwo tworzenia się wad wewnętrznych typu rzadzizna i jama skurczowa. Ograniczeniu objętości węzła cieplnego, a tym samym minimalizowaniu wielkości wad wewnętrznych, służy odpowiednio dobrany promień przejścia (rys. 2.6). Wprowadza się promienie zaokrągleń, których wartość wynosi zwykle $1/6$ – $1/3$ ich grubości, lub jednostronne wcięcie w materiale odlewu (rys. 2.7). Porównanie pola kół wpisanych w węzły cieplne przed zmianą konstrukcji i po zmianie pokazuje, jak korzystny jest taki sposób postępowania.



Rys. 2.6. Łączenie ścianek w odlewach (wg [6]): a) przed zmianą; b) po zmianie

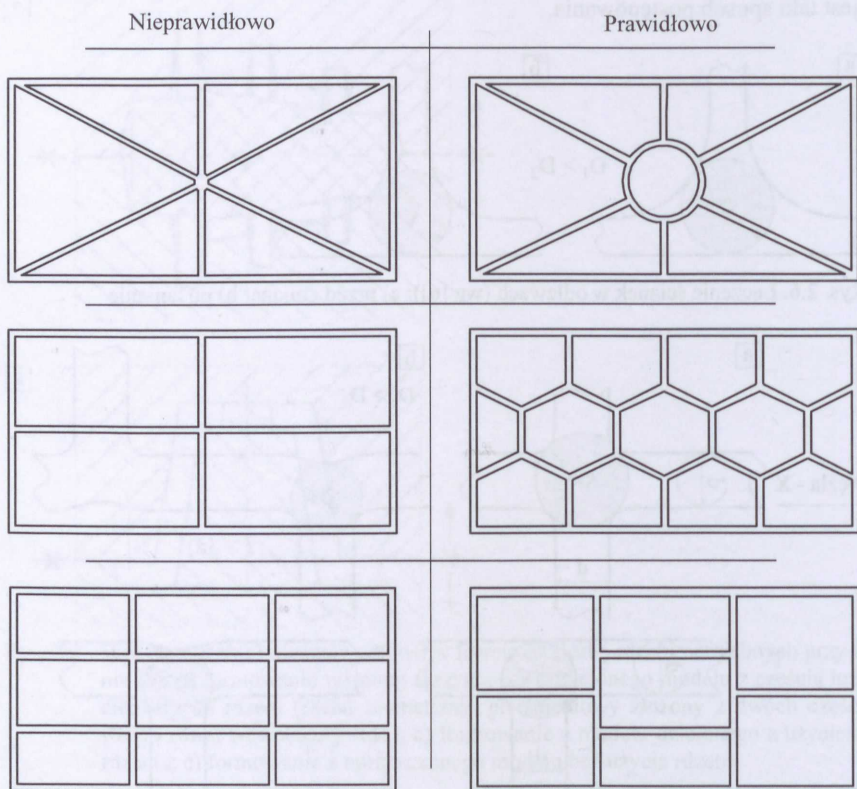


Rys. 2.7. Łączenie ścianek w odlewach (wg [11]): a) przed zmianą; b) po zmianie

W zależności od sposobu łączenia ścianek można rozróżnić węzły typu X, T i Y (rys. 2.7). W odlewach należy bezwzględnie unikać krzyżowych połączeń żeber typu X. Jeżeli z różnych powodów nie można ich uniknąć, należy próbować rozsunąć ścianki (rys. 2.7), tworząc

węzeł typu Z. Połączenia typu Y (rys. 2.7), ze względu na równomierność odprowadzania ciepła i zmniejszoną koncentrację naprężeń, są najbardziej korzystne. Zaleca się również wprowadzanie ścianek wygiętych zamiast płaskich w celu unikania dużych spiętrzeń naprężeń cieplnych.

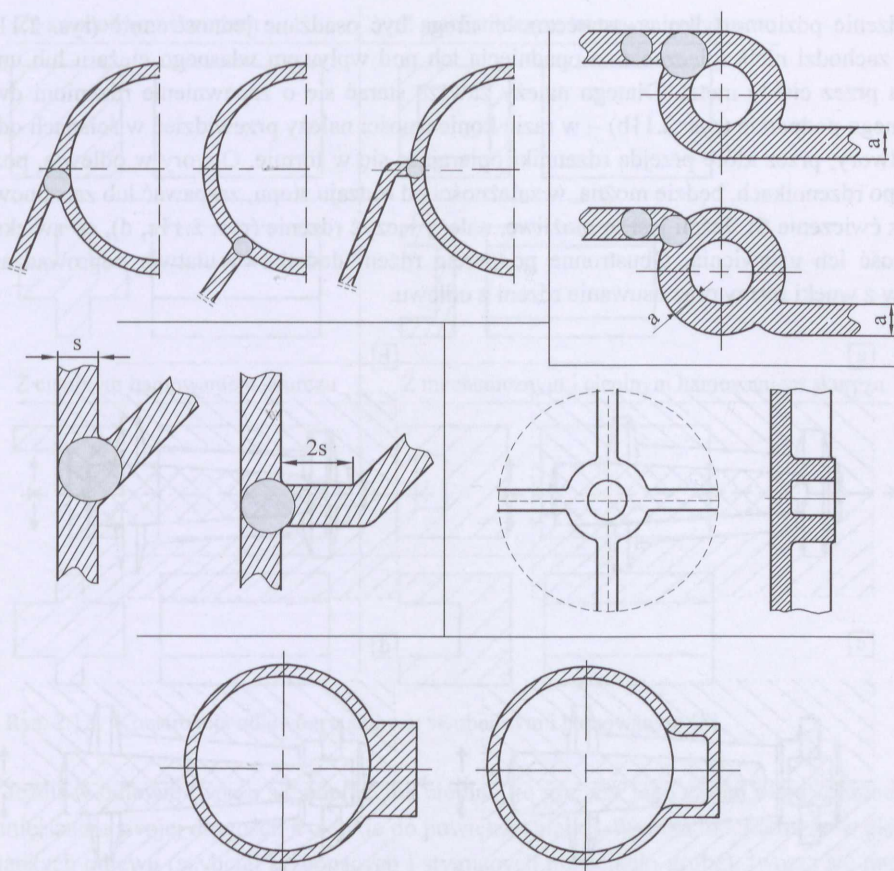
W odlewach uźebrowanych płyt i tarcz stosuje się wszystkie rodzaje rozwiązań połączeń ścianek (rys. 2.8). Przyjęcie określonego rozwiązania zależy od warunków eksploatacji wyrobu. Praktyka pokazuje jednak, że i w przypadku tego typu odlewów jest możliwe wykorzystanie takich rozwiązań, które pozwalają unikać niekorzystnego krzyżowego połączenia ścianek (rys. 2.8).



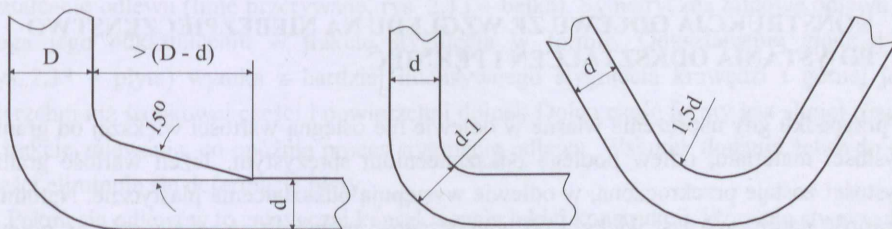
Rys. 2.8. Rozwiązania konstrukcyjne typowych połączeń uźebrowania płyty i tarczy [3, 9]

Zasady konstruowania odlewanych części maszyn i urządzeń ilustrują praktyczne przykłady sposobów zmniejszania objętości węzłów cieplnych w odlewach (rys. 2.9).

Konieczne zwiększenia przekroju wybranych fragmentów odlewu oraz zmiany kierunku przebiegu jego ścian są zwykle w trakcie eksploatacji źródłem wzrostu koncentracji naprężeń cieplnych. Poprawne ukształtowanie połączeń ścian w odlewach (rys. 2.10) pomaga zmniejszyć negatywne skutki takich rozwiązań dla trwałości odlewu. Przejście między grubszy-
mi i cieńszymi przekrojami powinno być łagodne, a zaokrąglenia wykonane odpowiednio dużymi promieniami.



Rys. 2.9. Zmiana konstrukcji odlewów w połączeniach ścianek – zmniejszenie wymiarów węzłów cieplnych (wg [11])

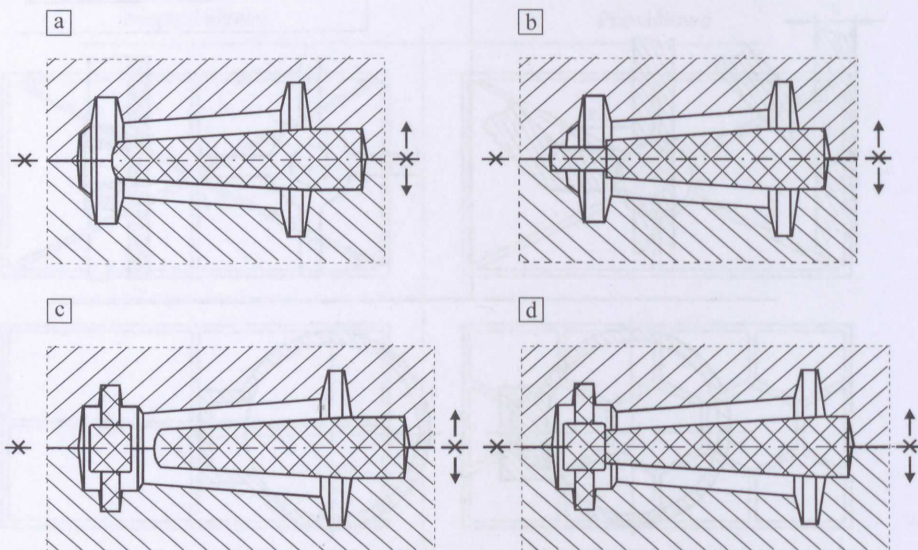


Rys. 2.10. Zalecane sposoby kształtowania naroży w odlewach o różnych i jednakowych przekrojach ścianek [10]

2.1.4. USTAWIENIE RDZENI W FORMIE

Stabilne osadzenie rdzeni w formie jest szczególnie ważne, gdy montowane są one w położeniu poziomym. Poprawa ich stabilności dzięki zastosowaniu podpór rdzeniowych nie zawsze otrzymuje akceptację konstruktora, szczególnie wtedy, gdy od odlewu wymagana jest duża szczelność.

Rdzenie poziome tylko w ostateczności mogą być osadzone jednostronnie (rys. 2.11a), gdyż zachodzi niebezpieczeństwo opadnięcia ich pod wpływem własnego ciężaru lub uniesienia przez ciekły metal. Dlatego należy zawsze starać się o zapewnienie rdzeniom dwustronnego podparcia (rys. 2.11b) – w razie konieczności należy przewidzieć w ścianach odlewu otwory, przez które przejdą rdzenniki opierające się w formie. Otwory w odlewie, pozostałe po rdzennikach, będzie można, w zależności od rodzaju stopu, zaspawać lub zaczopować (patrz ćwiczenie 6). Jeżeli jest to możliwe, należy łączyć rdzenie (rys. 2.11c, d), co zwiększy pewność ich ustawienia. Obustronne podparcie rdzeni dodatkowo ułatwia odprowadzanie gazów z wnętrza formy oraz usuwanie rdzeni z odlewu.

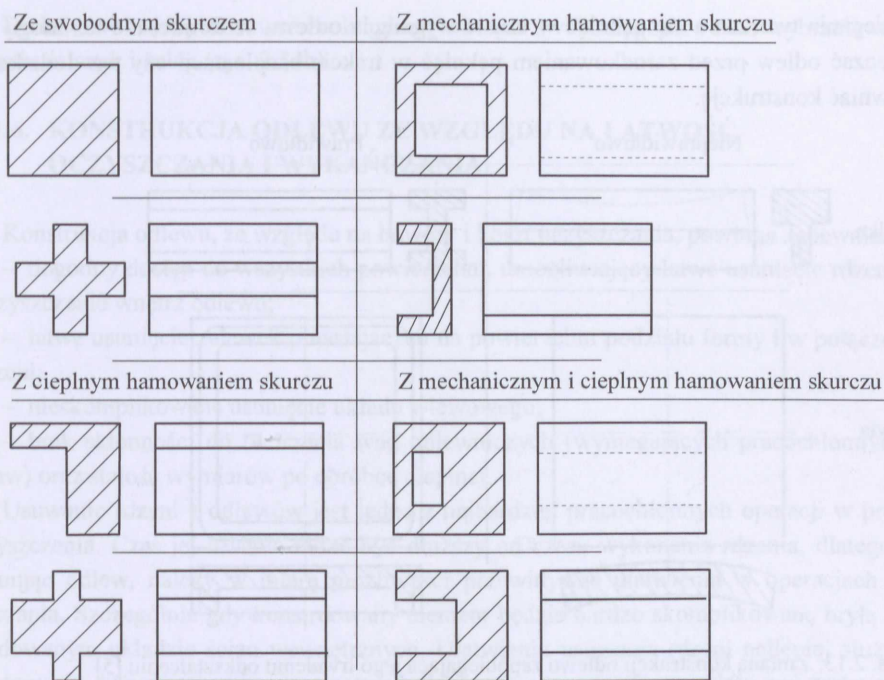


Rys. 2.11. Ustawienie rdzeni w formie [4]: a–d) różne warianty

2.1.5. KONSTRUKCJA ODLEWU ZE WZGLĘDU NA NIEBEZPIECZEŃSTWO POWSTANIA ODKSZTAŁCEŃ I PĘKNIĘĆ

W przypadku gdy naprężenia własne w odlewie nie osiągną wartości większej od granicy sprężystości materiału, odlew podlega odkształceniom sprężystym. Jeżeli wartość granicy sprężystości zostaje przekroczona, w odlewie występują odkształcenia plastyczne. Natomiast gdy wartość naprężenia jest większa od wytrzymałość materiału na rozciąganie, w odlewie tworzą się pęknięcia.

W zależności od przyczyn, które powodują powstanie naprężeń, rozróżnia się naprężenia cieplne, skurczowe i fazowe. Naprężenia cieplne to konsekwencje niejednakowej temperatury poszczególnych części odlewu podczas stygnięcia i w związku z tym nierównomiernego skurczu odlewu (cieplne hamowanie skurczu). Naprężenia skurczowe są wywołane oporem formy, rdzenia lub elementów skrzynki formierskiej stawianym swobodnemu skurczowi odlewu (mechaniczne hamowanie skurczu). Naprężenia fazowe wywołują przemiany fazowe zachodzące podczas stygnięcia odlewu. Przykłady konstrukcji odlewów o skurczu swobodnym i hamowanym przedstawia rys. 2.12.



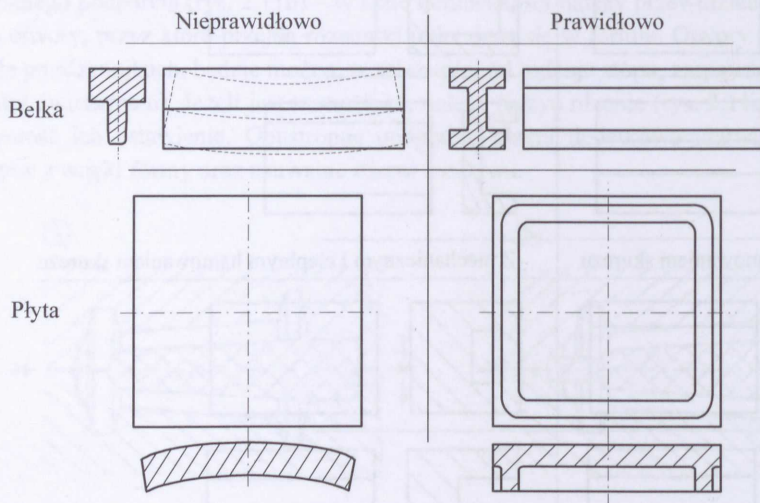
Rys. 2.12. Konstrukcja odlewów o skurczu swobodnym i hamowanym [5]

Jeżeli w odlewie tworzą się naprężenia cieplne, to grubsze jego części mają skłonność do zmniejszania swojej długości, a cienkie do powiększania jej. Wynika to z faktu, że w cienkich ściankach odlewu (szybciej krzepnących i stygnących niż ścianki grube), tworzą się naprężenia ściskające, a w ściankach grubych (wolniej krzepnących i stygnących) naprężenia rozciągające. Jeżeli grube i cienkie przekroje odlewu nie są rozłożone symetrycznie, następuje odkształcenie odlewu (linie przerywane, rys. 2.13 – belka). Symetryczna budowa odlewu zapobiega jego odkształceniu w trakcie stygnięcia w formie. Odkształcenie gładkiej płyty (rys. 2.13 – płyta) wynika z bardziej intensywnego stygnięcia krawędzi i górnej jej powierzchni niż środkowej części i powierzchni dolnej. Dolna część formy jest silniej rozgrzana w trakcie zalewania, co opóźnia proces stygnięcia odlewu. Wskutek dodania żeber do dolnej części eliminuje się deformację płyty.

Pęknięcia odlewów to zazwyczaj konsekwencje takiej konstrukcji, która nie stwarza żadnej możliwości uniknięcia mechanicznego hamowania skurczu. Przyczyną pęknięć może być również brak zaokrągleń lub zaokrągleń wykonane zbyt małym promieniem przy zbiegających się ścianach odlewu oraz spiętrzenia naprężeń cieplnych.

W celu zapobiegania pękaniu odlewów stosuje się żebra skurczowe (rys. 2.14). Żebra skurczowe wprowadza do konstrukcji odlewu technolog odlewnik, a tylko w rzadkich przypadkach przewiduje je konstruktor. Ze względu na znacznie mniejszą grubość w porównaniu z grubością ścianki odlewu żebra stygną szybciej, przyjmując znaczną część naprężeń. Żebra mogą, lecz nie muszą być usunięte z odlewu, dlatego ich rola nie ogranicza się tylko do

zapobiegania tworzeniu się pęknięć w czasie stygnięcia odlewu w formie, ale też mogą zabezpieczać odlew przed zarodkowaniem pęknięć w trakcie eksploatacji czy też dodatkowo usztywniać konstrukcję.

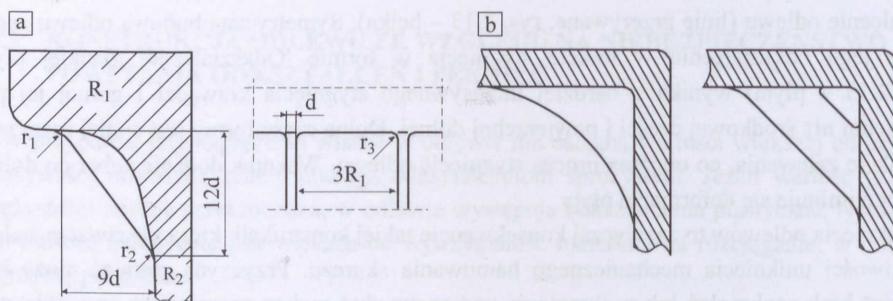


Rys. 2.13. Zmiana konstrukcji odlewu zapobiegająca jego trwałemu odkształceniu [5]

Wymiary żeber skurczowych określa się na podstawie grubości ścianki odlewu d , przyjmując [9, 10]:

- grubość $g = (0,2-0,3)d$, minimalne $g \geq 2,5$ mm,
- wysokość: $(1,5-2,5)d$.

Podstawą doboru żebra (rys. 2.14a) jest także wartość współczynnika R [12] ($R = V/F$, gdzie: V – objętość odlewu, F – powierzchnia odlewu).



Rys. 2.14. Żebro skurczowe: a) wytyczne do doboru wymiarów żebra [13]: $R_1/R_2 = 1-3$; grubość żebra $d = 0,3R_1$; wysokość żebra przy ścianie R_1 wynosi $9d$, a przy ścianie $R_2 - 12d$; odległość między żebrami wynosi $3R_1$; przy przejściu żebra w ściankę odlewu należy zastosować promień $r_1 = R_1$ i $r_2 = R_2$; promień połączenia ścianki i żebra $r_3 = d/2$; b) ukształtowanie żebra

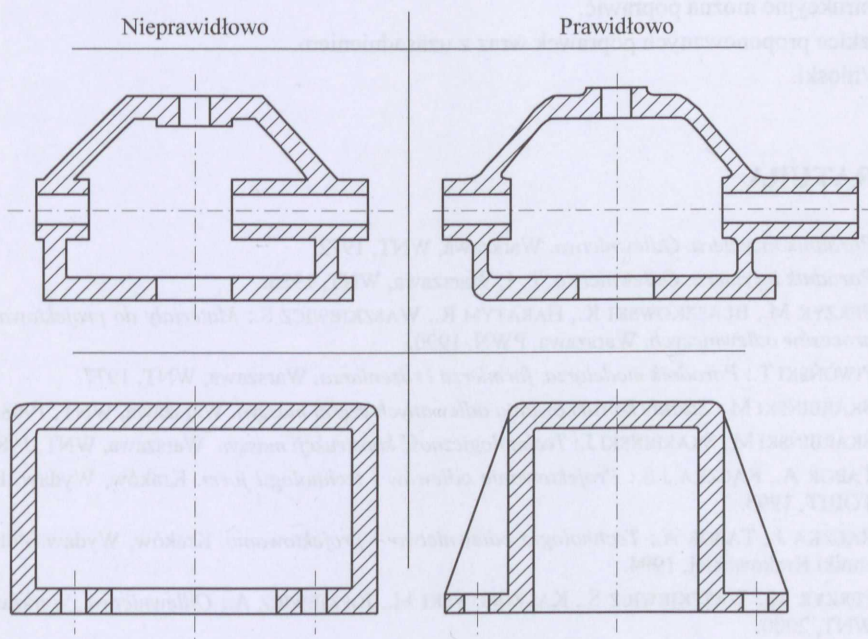
Dodatkowo należy stosować zaokrągloną krawędź swobodną żebra i/lub wybranie w połączeniu ścianek i żebra (rys. 2.14b).

2.1.6. KONSTRUKCJA ODLEWU ZE WZGLĘDU NA ŁATWOŚĆ OCZYSZCZANIA I WYKAŃCZANIA

Konstrukcja odlewu, ze względu na łatwość i koszt oczyszczania, powinna zapewniać:

- dogodny dostęp do wszystkich powierzchni, umożliwiający łatwe usunięcie rdzeni oraz oczyszczenie wnętrza odlewu;
- łatwe usunięcie zalewek powstających na powierzchni podziału formy i w połączeniach rdzeni;
- nieskomplikowane usunięcie układu wlewowego;
- brak skłonności do tworzenia wad odlewniczych (wymagających pracochłonnych napraw) oraz stałość wymiarów po obróbce cieplnej.

Usuwanie rdzeni z odlewów jest jedną z najbardziej pracochłonnych operacji w procesie czyszczenia. Czas jej trwania może być dłuższy od czasu wykonania rdzenia, dlatego konstruując odlew, należy w miarę możliwości przewidywać ułatwienia w operacjach oczyszczania. Szczególnie gdy konstruowany element będzie bardzo skomplikowaną bryłą o rozbudowanym układzie ścian wewnętrznych. Ułatwieniu usuwania rdzeni najlepiej służy projektowanie dużych otworów do wnętrza odlewu umieszczonych centralnie czy zastępowanie konstrukcji zamkniętych otwartymi (rys. 2.15). Takie postępowanie jest możliwe, o ile odlewy w trakcie eksploatacji nie są wypełniane cieczami technologicznymi, np. olejem.



Rys. 2.15. Zmiany konstrukcji wnętrza odlewu ułatwiające jego oczyszczenie (m.in. usuwanie rdzeni, masy formierskiej itp.) [3, 4]

Uwaga! W praktyce przemysłowej wszelkie zmiany w konstrukcji odlewu muszą być uzgodnione z jego konstruktorem i rozpatrzone z uwzględnieniem konstrukcji innych elementów z nim współpracujących.

2.2. PRZEBIEG ĆWICZENIA

W trakcie ćwiczenia należy kolejno:

1. Zapoznać się z otrzymanym rysunkiem technicznym odlewu.
2. Przeprowadzić analizę rozwiązań zastosowanych w konstrukcji odlewów m.in. pod kątem:
 - zapobiegania powstawaniu wad odlewniczych typu jama skurczowa, rzadzizna, pęknięcie, obciążenie;
 - odpowiedniego kształtowania właściwości wytrzymałościowych (wytrzymałość na rozciąganie, ściskanie, skręcanie itd.) oraz łatwości oczyszczania i obróbki mechanicznej.
3. Przedyskutować z prowadzącym celowość proponowanych zmian konstrukcyjnych.

2.3. SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Cel i zakres ćwiczenia.
2. Rysunek techniczny odlewu z zaznaczeniem tych jego fragmentów, których rozwiązanie konstrukcyjne można poprawić.
3. Szkice proponowanych poprawek wraz z uzasadnieniem.
4. Wnioski.

LITERATURA

- [1] *Poradnik inżyniera. Odlewnictwo*. Warszawa, WNT, 1972.
- [2] *Poradnik inżyniera. Odlewnictwo*. T. 1. Warszawa, WNT, 1986.
- [3] PERZYK M., BŁASZKOWSKI K., HARATYM R., WASZKIEWICZ S.: *Materiały do projektowania procesów odlewniczych*. Warszawa, PWN, 1990.
- [4] PIWOŃSKI T.: *Poradnik modelarza, formierza i rdzeniarza*. Warszawa, WNT, 1977.
- [5] SKARBIŃSKI M.: *Zasady konstruowania odlewanych części maszyn*. Warszawa, WNT, 1968.
- [6] SKARBIŃSKI M., SKARBIŃSKI J.: *Technologiczność konstrukcji maszyn*. Warszawa, WNT, 1982.
- [7] TABOR A., RĄCZKA J.S.: *Projektowanie odlewów i technologii form*. Kraków, Wydaw. FOTOBIT, 1998.
- [8] RĄCZKA J., TABOR A.: *Technologia odlewnictwa – projektowanie*. Kraków, Wydaw. Politechniki Krakowskiej, 1994.
- [9] PERZYK M., WASZKIEWICZ S., KACZOROWSKI M., JOPKIEWICZ A.: *Odlewnictwo*. Warszawa, WNT, 2000.
- [10] STEINKUSCH W.: Hitzebeständiger Stahlguß für Wärmebehandlungsanlagen. *Gas Wärme Inter.* 1987, Nr 6, s. 340.

- Cz. 2. Red. A. Staronka. Kraków

Ćwiczenie 3

RĘCZNE WYKONANIE FORMY PIASKOWEJ

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z:

- podstawowymi czynnościami podczas ręcznego wykonywania formy piaskowej,
 - przyrządami i narzędziami stosowanymi w procesie formowania
- oraz samodzielne wykonanie prostej formy piaskowej.

3.1. WPROWADZENIE

Najprostszą, a zarazem najtańszą metodą wykonywania odlewów w produkcji jednostkowej i małoseryjnej jest odlewanie do form piaskowych formowanych ręcznie. Odlewy drobne i średniej wielkości odlewa się w formach wilgotnych, a odlewy duże w formach suchych lub formach z mas wiązanych chemicznie [1–5].

W procesie ręcznego wykonywania formy piaskowej wykorzystuje się specjalne narzędzia i przyrządy używane przez formierza i rdzeniarsza. Są to oprzyrządowania odlewnicze i narzędzia formierskie [1, 2, 5, 7].

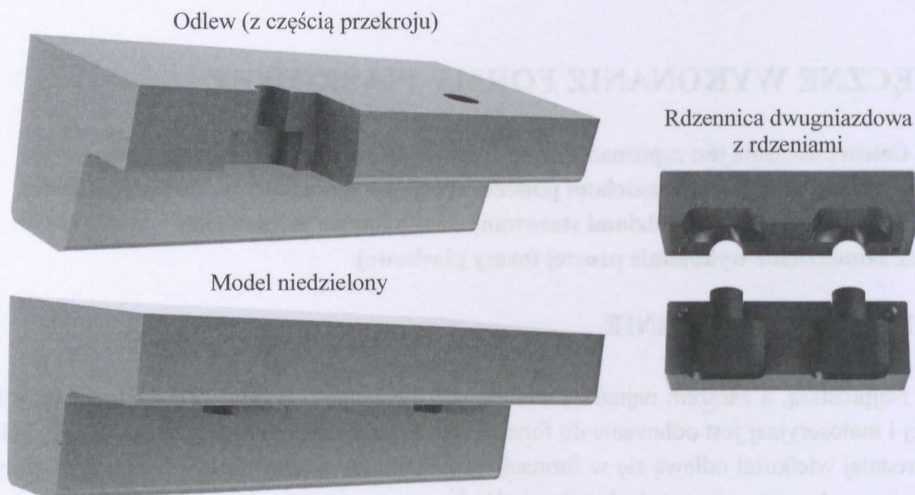
Oprzyrządowanie odlewnicze obejmuje przyrządy:

- służące do wykonania form i rdzeni: modele, rdzennice, modele układu wlewowego, płyty modelowe oraz skrzynki formierskie;
- pomocnicze stosowane przy wykonywaniu form i rdzeni, takie jak: podstawki do suszenia rdzeni, przyrządy do szlifowania i ustawiania rdzeni w formie;
- przeznaczone do kontroli wykonania formy i rdzenia – sprawdziany wymiaru i kształtu.

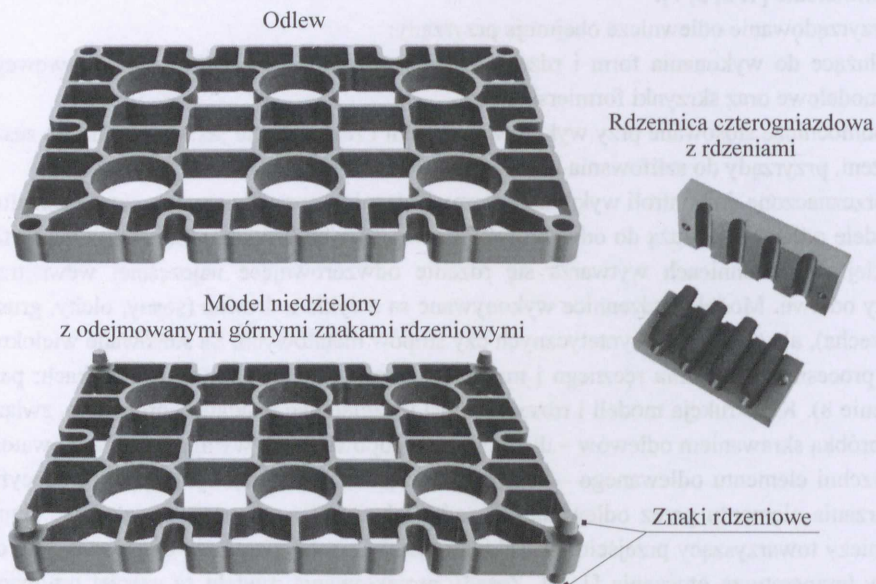
Modele odlewnicze służą do odwzorowania zewnętrznych kształtów odlewu w masie formierskiej. W rdzennicach wytwarza się rdzenie odwzorowujące najczęściej wewnętrzne kształty odlewu. Modele i rdzennice wykonywane są zwykle z drewna (sosny, olchy, gruszy lub orzecha), ale też z żywic syntetycznych czy stopów metalowych. Są stosowane wielokrotnie w procesie formowania ręcznego i małoseryjnego maszynowego (na formierkach; patrz ćwiczenie 8). Konstrukcja modeli i rdzennic musi uwzględniać naddatki obróbkowe, związane z obróbką skrawaniem odlewów – dla uzyskania odpowiednich wymiarów i chropowatości powierzchni elementu odlewane – oraz naddatki technologiczne, wynikające ze specyfiki wytwarzania elementu przez odlewanie. Ponadto ich wymiary muszą uwzględniać skurcz odlewniczy towarzyszący przejściu od ciekłego metalu – o temperaturze odlewania – do odlewu w temperaturze otoczenia [1, 5]. Zasady projektowania modelu są szerzej omówione w ćwiczeniu 4.

Modele i rdzennice, celem zabezpieczenia ich przed działaniem wilgoci, pokrywa się specjalnymi lakierami.

Najliczniejszą grupę modeli odlewniczych stanowią modele do formowania z rdzeniami (rys. 3.1–3.6). Są to modele zarówno niedzielone (rys. 3.1 i 3.2), jak i dzielone (rys. 3.3–3.6). Podział modelu wprowadza się w celu jego łatwiejszego wyciągnięcia z formy odlewniczej podczas formowania [1, 5, 7].

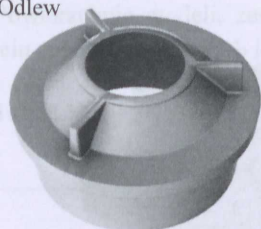


Rys. 3.1. Odlew progu oraz jego model niedzielony, rdzennica i rdzenie

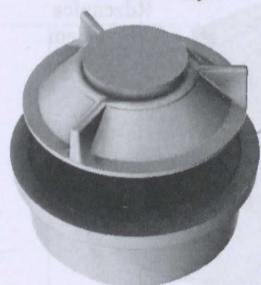


Rys. 3.2. Odlew palety oraz jego model niedzielony z odejmowanymi znakami rdzeniowymi, rdzennica i rdzenie

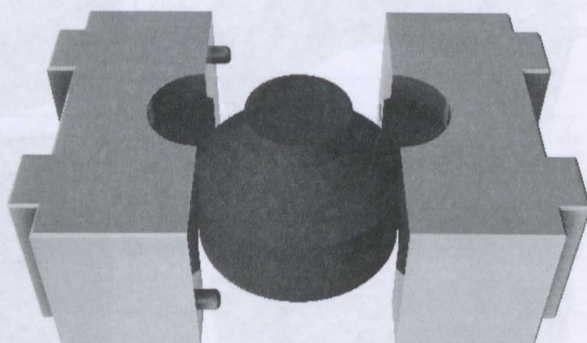
Odlew



Model dzielony

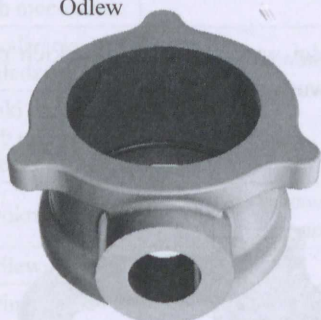


Rdzennica z rdzeniem

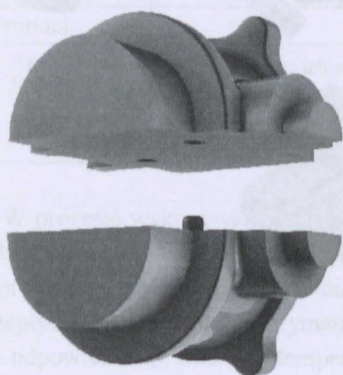


Rys. 3.3. Odlew obudowy oraz jego model dzielony, rdzennica i rdzeń

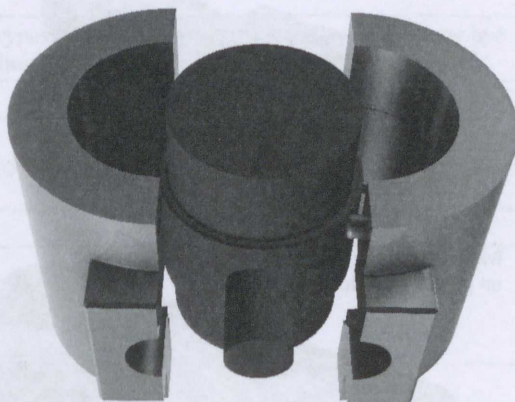
Odlew



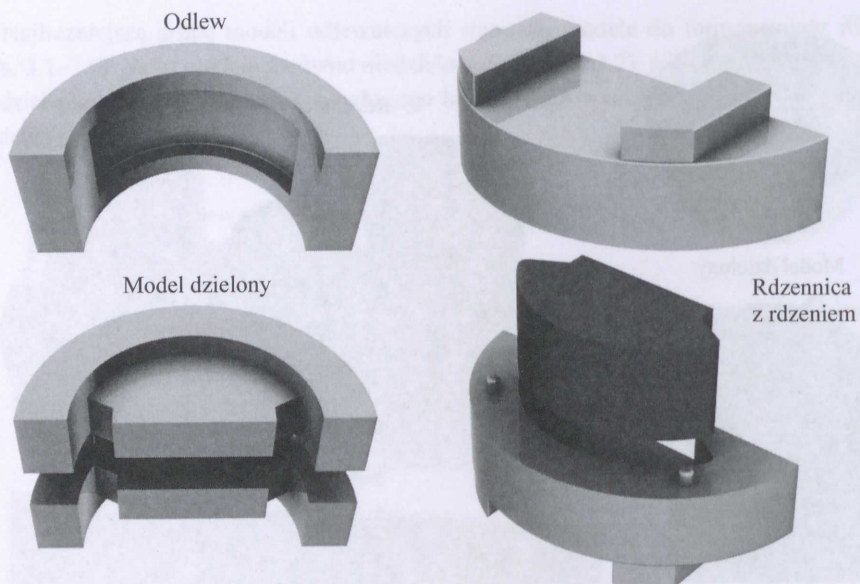
Model dzielony



Rdzennica z rdzeniem

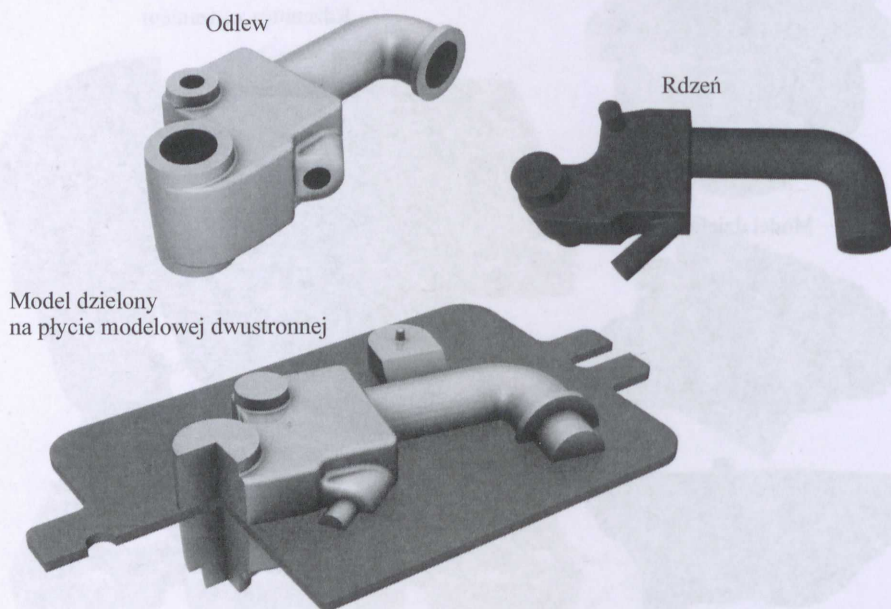


Rys. 3.4. Odlew trójkątny oraz jego model dzielony, rdzennica i rdzeń



Rys. 3.5. Odlew osłony oraz jego model dzielony, rdzennica i rdzeń

Dla ułatwienia wykonania formy i poprawy dokładności wymiarowej niewielkich odlewów można ich model zamocować na płycie modelowej dwustronnej (rys. 3.6).



Rys. 3.6. Odlew korpusu oraz jego model dzielony zamontowany na płycie modelowej dwustronnej i rdzeń

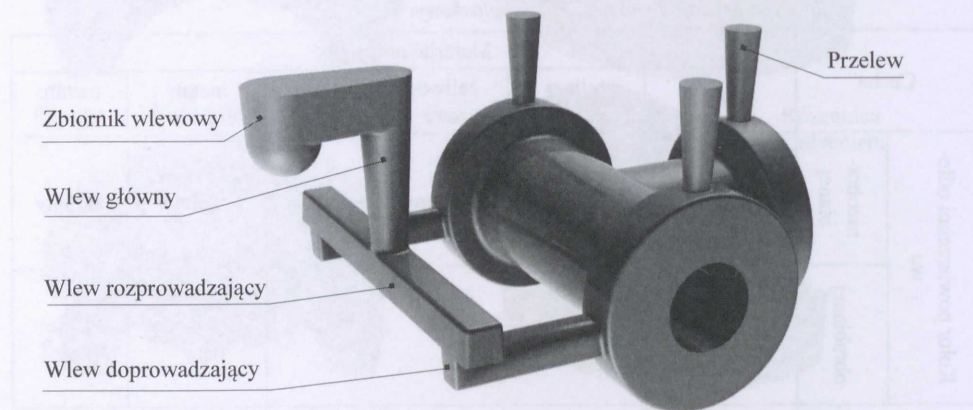
Powierzchnie modeli, zespołów modelowych i rdzennic powinny być pokryte lakierem w celu zabezpieczenia i/lub identyfikacji (tab. 3.1)

Tabela 3.1. Pokrycia powierzchni (malowanie i znaczenie kolorów) modeli, zespołów modelowych i rdzennic (PN-EN 12890. *Odlewnictwo – Modele, zespoły modelowe i rdzennice do wykonywania form oraz rdzeni piaskowych*)

Cecha		Materiał odlewany					
		staliwo	żeliwo sferoidalne	żeliwo szare	żeliwo ciągliwe	metale ciężkie ¹⁾	metale lekkie ²⁾
Kolor powierzchni odlewu	nieobrobianej	niebieski	fioletowy	czerwony	popielaty	żółty	zielony
	obrabianej	żółte pasy ³⁾				czerwone pasy ³⁾	żółte pasy ³⁾
Gniazda na luźne elementy i ich mocowanie		zaznaczone na czarno					
Lokalizacja ochładzalników		czerwony		niebieski	czerwony	niebieski	
Znaki rdzeniowe i/lub położenie rdzenia		czarny					
Wyokrąglenia		jeżeli nie są zawarte w wyposażeniu, ale wymagane na odlewie, powinny być oznaczone czarną linią kreskowaną z podaną wartością promienia					
Nadlewy		żółte pasy					
Gwintowanie elementów do podnoszenia ⁴⁾		wskazane wymiary gwintu na powierzchni modelu					
Wzorniki		lakier bezbarwny					
¹⁾ Miedź, nikiel, ołów i cynk oraz ich stopy. ²⁾ Aluminium, magnez i tytan oraz ich stopy. ³⁾ Małe i średnie wielkości powierzchni powinny być pomalowane całe. ⁴⁾ Unikać gwintu M18.							

W procesie wykonywania form odlewniczych niezbędne są także modele odwzorowujące układ wlewowy – zespół kanałów w formie umożliwiający spokojne, równomierne i ciągłe doprowadzenie ciekłego metalu do jej wnętrza. Ma on także zapewnić wymaganą prędkość przepływu strugi metalu, zatrzymanie płynących z nim wtrąceń niemetalicznych oraz uzyskanie odpowiedniego rozkładu temperatury w odlewie i w formie dla stworzenia warunków do prawidłowego krzepnięcia i stygnięcia odlewu. Jego kształt zależy od rodzaju użytego stopu i ukształtowania odlewu. W większości prostych układów wlewowych wyróżnia się charakterystyczne elementy, spełniające określone funkcje (rys. 3.7, tab. 3.2).

Kształt, a przede wszystkim rozmieszczenie układu wlewowego jest wynikiem analizy danego przypadku technologicznego i zależy głównie od umiejętności i doświadczenia technologa. Niezależnie od tego faktu zarówno części, jak i kształt podstawowych elementów układu wlewowego są znormalizowane (patrz Załącznik A).



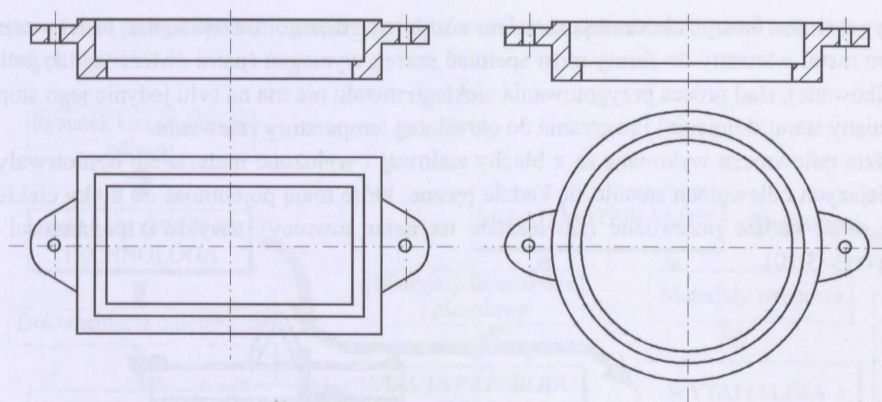
Rys. 3.7. Odlew żeliwnego trójkąta z typowym układem wlewowym – forma piaskowa o poziomej płaszczyźnie podziału [6]

Tabela 3.2. Elementy układu wlewowego* [7]

Nazwa elementu	Funkcja
Zbiornik wlewowy	Zbiornik, do którego wlewa się ciekły metal z kadzi. Zapewnia spokojne wprowadzenie metalu do układu i częściowo zatrzymuje zanieczyszczenia niemetalowe
Wlew główny	Kanał wprowadzający metal w głąb formy. Łączy zbiornik wlewowy z wlewem rozprowadzającym lub wlewami doprowadzającymi
Wlew rozprowadzający	Kanał, który rozprowadza metal z wlewu głównego do wlewów doprowadzających. Częściowo zatrzymuje zanieczyszczenia niemetalowe
Wlew doprowadzający	Kanał (kanały) doprowadzający metal bezpośrednio do wnęki formy
Przelew (wychód)	Kanał, który służy do odprowadzania gazów z wnęki formy, wskazuje zapęnlienie formy ciekłym metalem i zmniejsza siły uderzenia metalu w górną połowę formy

Proces formowania modeli jest prowadzony w skrzynkach formierskich. Umożliwiają one odpowiednie zagęszczenie masy formierskiej wokół modelu oraz utrzymanie jej w trakcie transportu form i ich zalewania ciekłym metalem. Skrzynki mają kształt ramy (rys. 3.8), a głównymi ich elementami są: ściany boczne, żebra, ucha skrzynek, uchwyty, czopy i elementy zaciskowe. Mniejsze skrzynki są spawane ze stali profilowej, a większe odlewane z żeliwa bądź staliwa. Mogą też być skręcane.

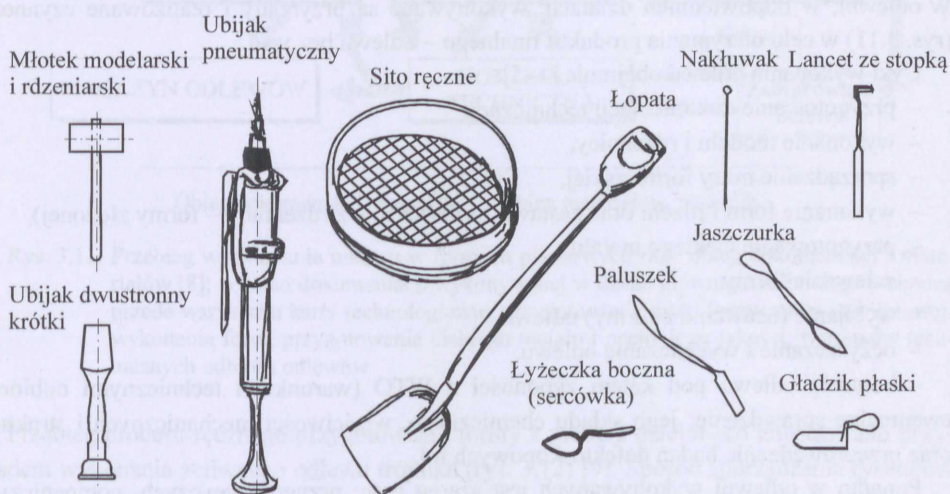
* Kształt i wymiary elementów przedstawiono w Załączniku A.



Rys. 3.8. Skrzynka formierska o kształcie prostokątnym i okrągłym (PN-H-54101. *Odlewnictwo. Skrzynki formierskie. Postanowienia ogólne*)

Formy odlewnicze wykonywane są z mas formierskich (patrz ćwiczenie 5), składających się z piasków (przeważnie kwarcowych), spoiw (materiałów ułatwiających wiązanie ziarn piasku) oraz ewentualnie dodatków specjalnych – służących do zapewnienia właściwości szczególnych, jak np. pył węgla kamiennego w masach formierskich stosowanych przy wytwarzaniu odlewów żeliwnych [1].

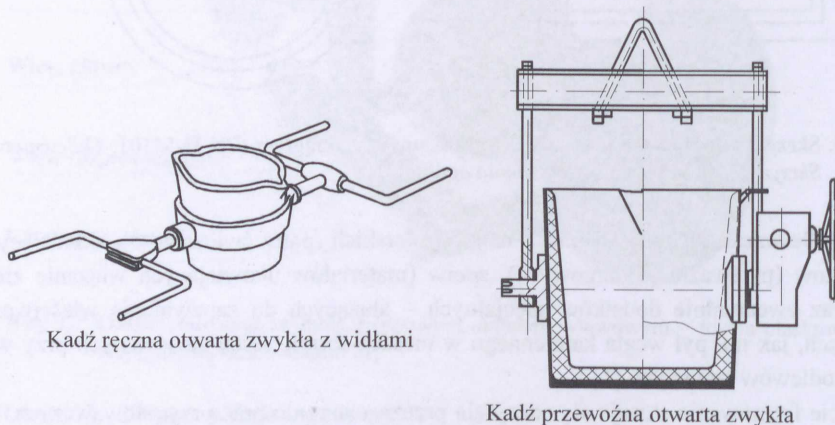
W trakcie formowania stosuje się narzędzia przeznaczone do prac przygotowawczych, takich jak: nasiewanie i narzucanie masy, jej zagęszczanie i odpowietrzanie, wyjmowanie modelu z masy już zagęszczonej. Są to: sita formierskie ręczne, łopaty, młotki, ubijaki ręczne i pneumatyczne, zgarniaki, nakłuwacze, pędzle i uchwyty. Natomiast prace związane z wykończeniem formy, takie jak: podcinanie, wygładzanie i naprawy drobnych uszkodzeń formy, przeprowadza się, stosując m.in.: jaszczurki, gładziki, łyżeczki czy lancety (rys. 3.9).



Rys. 3.9. Podstawowe narzędzia formierskie

Przygotowane formy zalewane są metalem z użyciem różnego rodzaju kadzi. Należy zaznaczyć, że metal wlewany do formy musi spełniać szereg wymagań (patrz ćwiczenie 10; żeliwo modyfikowane), stąd proces przygotowania ciekłego metalu nie ma na celu jedynie jego stopienia (zmiany stanu skupienia) i nagrzania do określonej temperatury zalewania.

Kadzie odlewnicze wykonane są z blachy stalowej i wyłożone materiałem ogniotrwałym. W mniejszych odlewniach stosuje się kadzie ręczne, które mają pojemność do 80 kg ciekłego metalu, oraz kadzie przewożne (zawieszane na haku suwnicy), zwykle o pojemności do 500 kg (rys. 3.10).



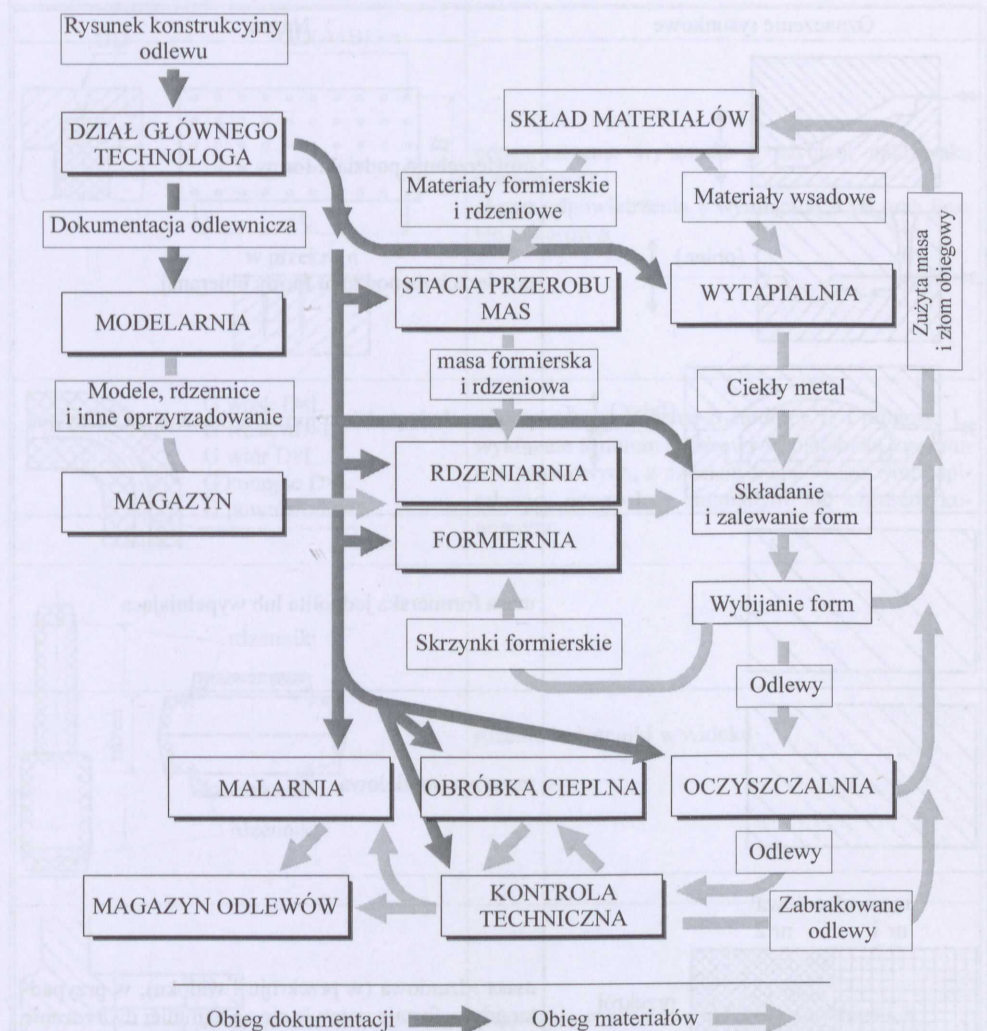
Rys. 3.10. Kadzie odlewnicze służące do zalewania form metalem przez dziób

Proces wykonywania odlewu rozpoczyna się od jego zaprojektowania – sporządzenia rysunku konstrukcyjnego danej części. Następnie rysunek wraz z zamówieniem przesyłany jest do odlewni, która ma spełnić wymagania jakości stawiane odlewom przez konstruktora. W odlewni, w odpowiednich działach, wykonywane są przyrządy i realizowane czynności (rys. 3.11) w celu otrzymania produktu finalnego – odlewu bez wad.

Cykl wykonania odlewu obejmuje [1–5]:

- przygotowanie dokumentacji technicznej,
- wykonanie modelu i rdzennicy,
- sporządzenie masy formierskiej,
- wykonanie form i rdzeni oraz zestawu form (łącznie z rdzeniami – formy złożonej),
- przygotowanie ciekłego metalu,
- zalewanie formy,
- wybijanie (usuwanie z formy) odlewu,
- oczyszczanie i wykańczanie odlewu,
- kontrolę odlewu pod kątem zgodności z WTO (warunkami technicznymi odbioru); ewentualne sprawdzenie: jego składu chemicznego, właściwości mechanicznych i struktury oraz przeprowadzenie badań defektoskopowych itd.

Ponadto w odlewni wykonywanych jest szereg prac: przygotowawczych, pomocniczych i transportowych z zakresu BHP i ochrony środowiska naturalnego oraz utrzymania ruchu



Rys. 3.11. Przebieg wytwarzania odlewu w formach piaskowych oraz obieg dokumentacji i materiałów [8]; w skład dokumentacji wykonywanej w dziale głównego technologa wchodzi przede wszystkim karty technologiczne: przygotowania masy formierskiej i rdzeniowej, wykonania form, przygotowania ciekłego metalu i oceny jego jakości, warunków technicznych odbioru odlewów

Przebieg procesu ręcznego przygotowania formy z modelu dzielonego zilustrowano przykładem wykonania żeliwnego odlewu trójkąta (rys. 3.12) [9]. Sposób sporządzenia rysunków odlewniczych i stosowanych na nich oznaczeń jest znormalizowany i stanowi poszerzenie ogólnych zasad rysunku technicznego. Podstawowe oznaczenia odlewnicze nanoszone na rysunku formy piaskowej zestawiono w tab. 3.3.

Tabela 3.3. Oznaczenia na rysunku form odlewniczych (PN-89/H-01570. *Dokumentacja technologiczna odlewnicza. Zasady wykonywania rysunków dla odlewów z form piaskowych*)

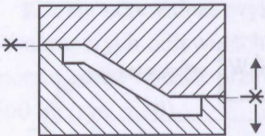
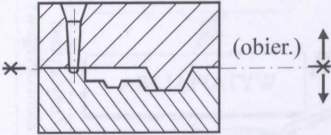
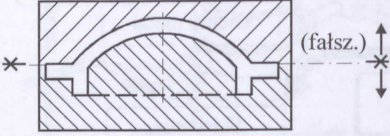
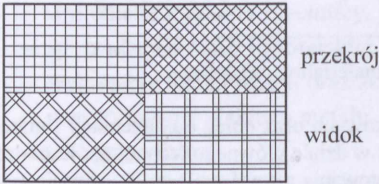
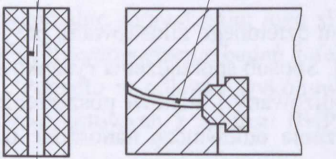
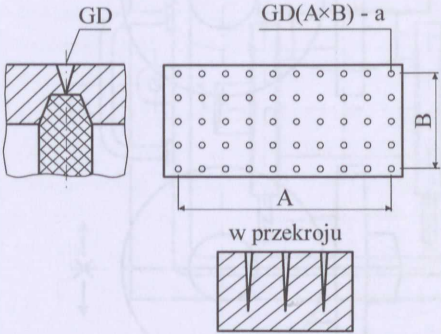
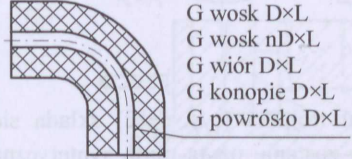
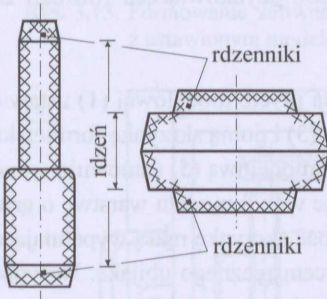
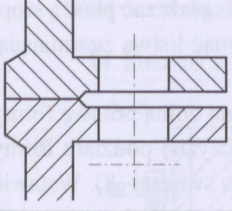
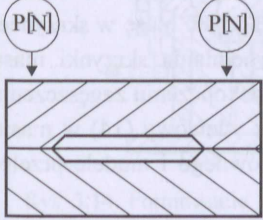
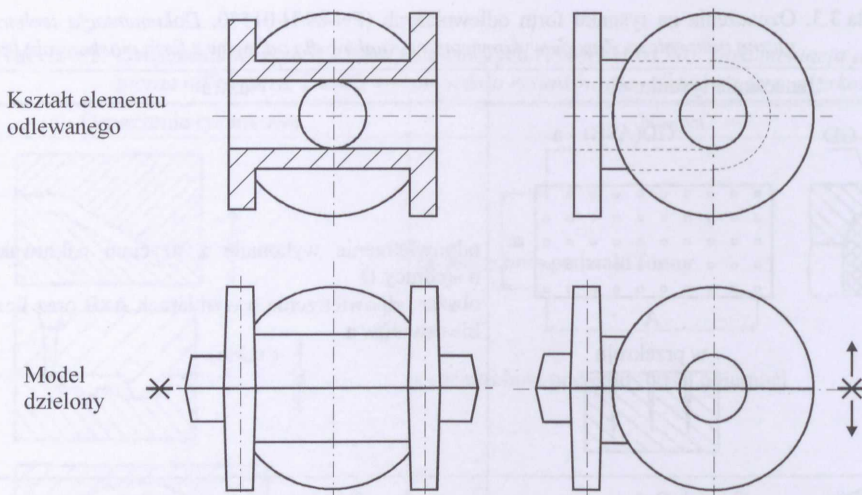
Oznaczenie rysunkowe	Nazwa
	powierzchnia podziału formy
	powierzchnia podziału formy obieranej
	powierzchnia podziału formy wykonanej na fałszywce
	masa formierska jednolita lub wypełniająca
	masa przymodelowa
masa rdzeniowa nr 1 nr 2 	masa rdzeniowa (w przekroju i widoku); w przypadku gdy w formie montuje się co najmniej dwa rdzenie należy kreskować je w odmienny sposób
G pręt D×L G kabel D×L 	odpowietrzenie kanałem o średnicy D i długości L otrzymanym przez wyciągnięcie zaformowanego pręta metalowego lub kabla (przewodu giętkiego)

Tabela 3.3. Oznaczenia na rysunku form odlewniczych (PN-89/H-01570. Dokumentacja technologiczna odlewnicza. Zasady wykonywania rysunków dla odlewów z form piaskowych) (cd.)

Oznaczenie rysunkowe	Nazwa
 GD GD(A×B) - a B A w przekroju	odpowietrzenie wykonane z użyciem nakłuwaka o średnicy D obszar odpowietrzenia o wymiarach A×B oraz liczbie otworów a
 G wosk D×L G wosk nD×L G wiór D×L G konopie D×L G powrósło D×L	odpowietrzenie rdzenia o średnicy D i długości L, wykonane sznurem woskowym, plecionką ze sznurów woskowych, z użyciem metalowego wióra spiralnego, powrósłem słomianym lub sznurem konopnym
 rdzenniki rdzen rdzenniki	rdzenie i rdzenniki w widoku
 P[N] P[N]	połączenie sworzniowe skrzynek formierskich
 P[N] P[N]	obciążenie formy



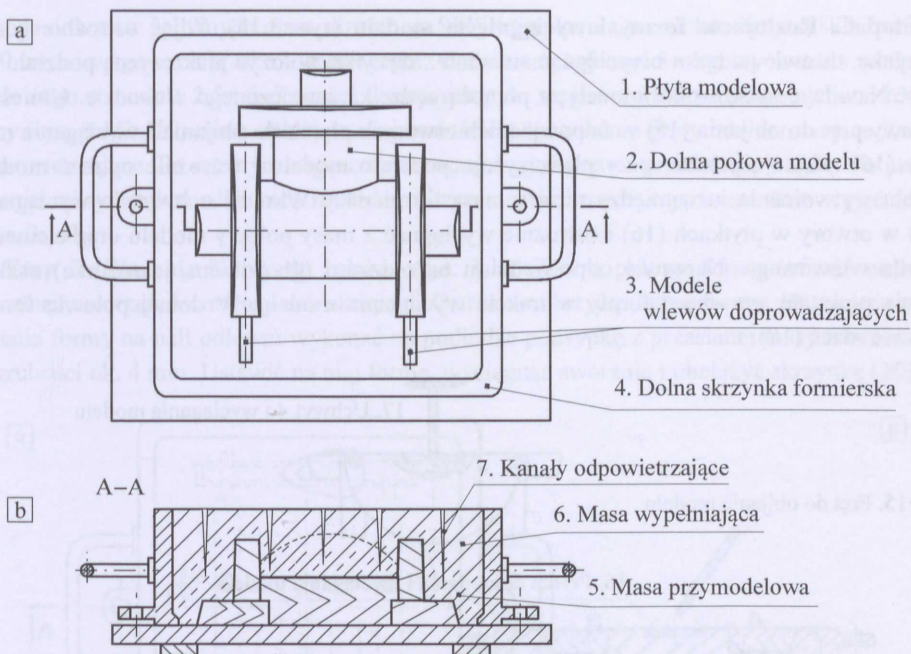
Rys. 3.12. Formowany żeliwny korpus trójnika

Zespół modelowy potrzebny do sporządzenia odlewu trójnika (rys. 3.12) składa się z drewnianego modelu i rdzennicy. Do wykonania formy zostanie użyta masa syntetyczna (patrz ćwiczenie 5), a do wykonania rdzenia np. sypka masa szybkowiążąca (SMSZ) ze szkłem wodnym (technologia CO₂).

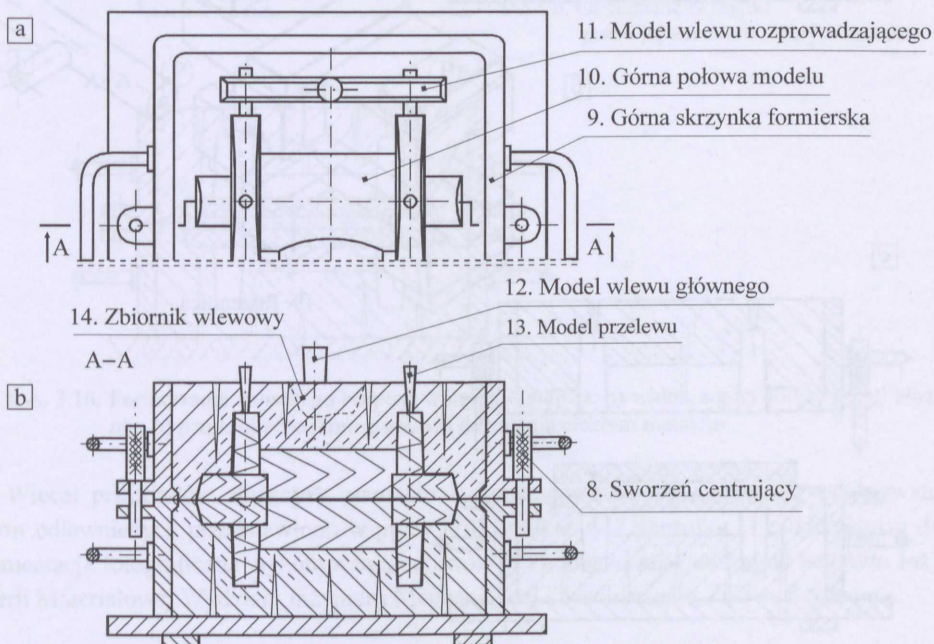
Opis wykonania formy podzielono na cztery etapy (A–D).

Etap A. Wykonanie dolnej połowy formy (rys. 3.13). Na płycie modelowej (1) ustawić dolną połowę modelu (2), modele wlewów doprowadzających (3) i dolną skrzynkę formierską (4). Model posypać pudrem formierskim i wypełnić masą przymodelową (5) (umownie – masa formierska przesiana przez sito o małych oczkach), tworząc wokół modelu warstwę o grubości 20–30 mm. Masę zagęścić dłońmi wokół modelu. Zasypanie skrzynkę masą wypełniającą (6) do ok. połowy jej wysokości. Zagęścić masę ostrym końcem ręcznego ubijaka. Nasypać następną porcję masy i zagęścić ubijakiem. Gdy skrzynka będzie wypełniona zagęszczoną masą do ok. 80–90% wysokości, nasypać masę z dużym nadmiarem i zagęszczać płaską stopką ubijaka. Nadmiar masy wychodzący ponad wysokość skrzynki zgarnąć listwą zgarniającą, a następnie nakłuwakiem wykonać kanały odpowietrzające (7).

Etap B. Wykonanie górnej połowy formy (rys. 3.14). Zaformowaną dolną połowę formy obrócić z płytą modelową o 180°. Zdjąć płytę, zmieść zmiotką płaszczyznę podziału formy i ustawić górną skrzynkę formierską (9), centrując ją z dolną za pomocą sworzni (8). Wstawić górną połowę modelu (10) i model wlewu rozprowadzającego (11). Posypać pudrem formierskim model i ustawione elementy układu wlewowego. Nasypać i zagęścić masę w skrzynce, rozpoczynając od nasypywania masy przymodelowej. W miarę wypełniania skrzynki masą wstawić model wlewu głównego (12) i modele przelewów (13). Po zakończeniu zagęszczenia masy w skrzynce zgarnąć jej nadmiar. Wyciąć jaszczurką zbiornik wlewowy (14) w masie wokół modelu wlewu głównego. Obić delikatnie model wlewu głównego i modele przelewów, a następnie ostrożnie wyciągnąć je z formy.

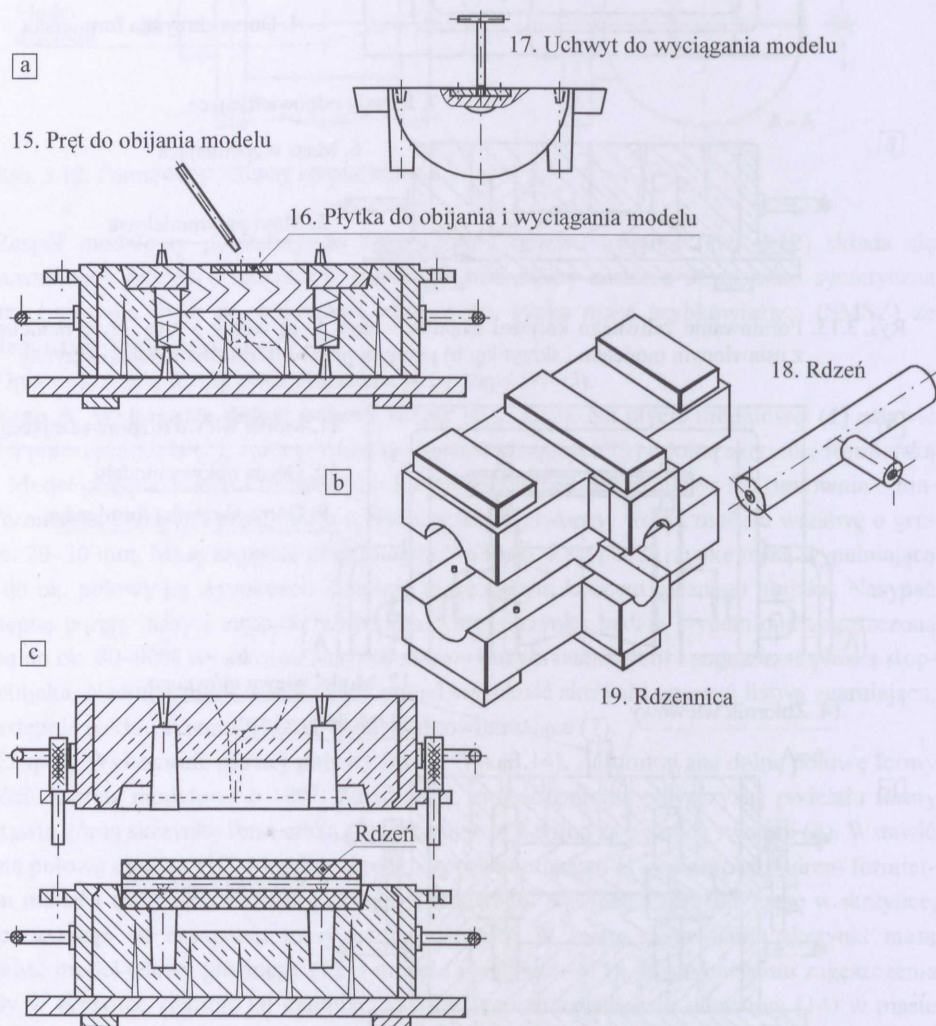


Rys. 3.13. Formowanie żeliwnego korpusu trójnika – etap A: a) widok z góry płyty modelowej z ustawionym modelem i skrzynką; b) przekrój przez zaformowaną dolną skrzynkę



Rys. 3.14. Formowanie żeliwnego korpusu trójnika – etap B: a) widok z góry płyty modelowej z ustawionym modelem i górną skrzynką; b) przekrój przez zaformowaną skrzynkę

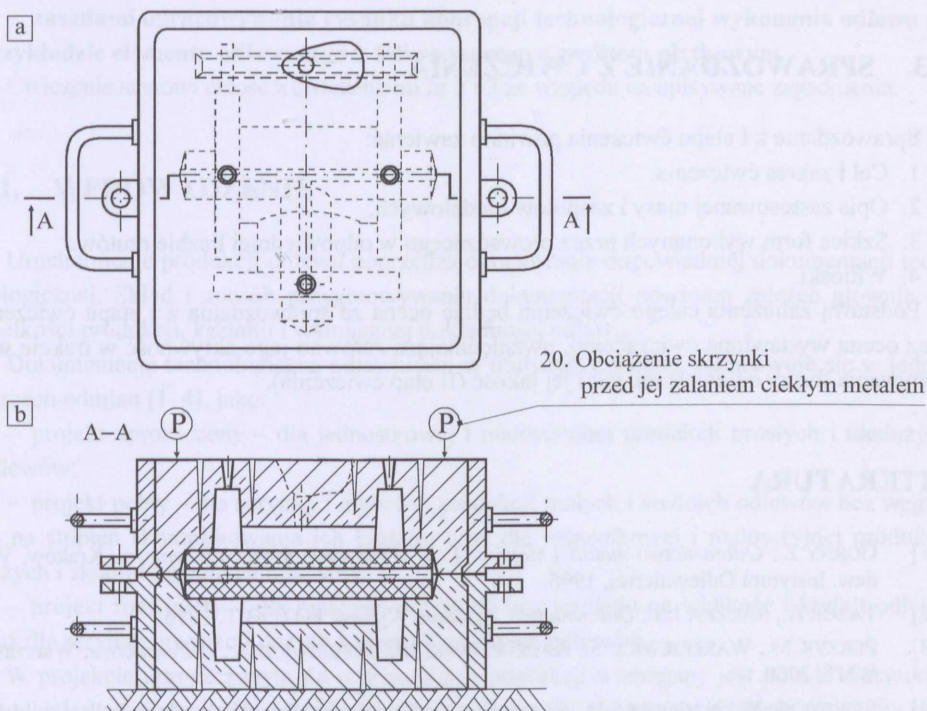
Etap C. Rozłożenie formy i wyciągnięcie modelu (rys. 3.15). Zdjąć ostrożnie górną skrzynkę, ustawić na boku i wyciągnąć sworznie. Skrzynkę położyć płaszczyzną podziału do góry. Nawilżyć masę wokół modeli za pomocą pędzelka zamoczonego w wodzie. Umieścić stalowy pręt do objiania (15) w odpowiednich otworach płytek do objiania i wyciągania modelu (16) znajdujących się przy płaszczyźnie podziału modelu i ostrożnie opukać modele w celu wytworzenia luzu między nimi a masą formierską. Wkręcić uchwyt do wyciągania (17) w otwory w płytkach (16) i ostrożnie wyciągnąć z masy połowy modelu oraz elementy układu wlewowego. Naprawić odpowiednimi narzędziami (gładzikiem, jaszczurką) uszkodzenia powstałe we wnętrzu formy w trakcie wyciągania modelu. W dolnej połowie formy ustawić rdzeń (18).



Rys. 3.15. Formowanie żeliwnego korpusu trójkątnika – etap C: a) przekrój przez dolną połowę formy oraz połowa modelu z wkręconym uchwytem do jego wyciągania; b) rdzennica i rdzeń; c) przekrój przez górną i dolną połowę formy przed jej złożeniem

Dla odlewów żeliwnych masa rdzeniowa SMSZ (sypka masa szybkowiążąca) składa się ze 100 części wagowych piasku kwarcowego z dodatkiem 3–6 części wagowych szkła wodnego sodowego o module 2,5 i 3–7 części wagowych pyłu węglowego. Przed napełnieniem rdzennicy (rys. 3.15b, 19) masą należy w niej umieścić odpowiednie pręty odwzorowujące kanały odpowietrzające. Po ręcznym zagęszczeniu masy wyjąć pręty i przedmuchać CO_2 . Po utwardzeniu masy opukać rdzennicę młotkiem rdzeniarskim, rozłożyć ją i ostrożnie wyjąć rdzeń (rys. 3.15b).

Etap D. Złożenie formy do zalania (rys. 3.16). Górną połowę formy ustawić na boku i wsunąć sworznie w otwory uch skrzynki. Ostrożnie złożyć połowy formy. W miejscu ustawienia formy na hali odlewni wykonać na podłodze podsypkę z przesianej masy formierskiej o grubości ok. 4 mm. Ustawić na niej formę, wyciągnąć sworznie i obciążyć skrzynkę (20).



Rys. 3.16. Formowanie żeliwnego korpusu trójnika – etap D: a) widok z góry formy po jej złożeniu; b) przekrój przez formę gotową do zalania ciekłym metalem

Więcej przykładów służących poznaniu i zrozumieniu podstaw techniki wykonywania form odlewniczych przedstawiono w pracy [10], a także w Załączniku C zawierającym dokumentację fotograficzną wykonywania odlewów w Odlewni Doświadczalnej Instytutu Inżynierii Materiałowej Wydziału Inżynierii Mechanicznej i Mechatroniki ZUT w Szczecinie.

3.2. PRZEBIEG ĆWICZENIA

Ćwiczenie będzie realizowane podczas dwóch dwugodzinnych etapów.

I etap. W trakcie ćwiczenia studenci zapoznają się z podstawowymi zasadami i przebiegiem procesu formowania ręcznego w masie wilgotnej. Prowadzący zajęcia, za pomocą wybranych zespołów modelowych, pokazuje i omawia poszczególne etapy wykonywania form jednorazowych. Jednocześnie zademonstruje sposób posługiwania się poszczególnymi narzędziami formierskimi.

II etap. Studenci samodzielnie, ale pod nadzorem prowadzącego wykonują formy z użyciem modeli niedzielonych i dzielonych. Wybrane formy są następnie zalewane ciekłym metalem przez prowadzącego.

3.3. SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA

Sprawozdanie z I etapu ćwiczenia powinno zawierać:

1. Cel i zakres ćwiczenia.
2. Opis zastosowanej masy i zespołów modelowych.
3. Szkice form wykonanych przez prowadzącego w odpowiedniej liczbie rzutów.
4. Wnioski.

Podstawą zaliczenia całego ćwiczenia będzie ocena ze sprawozdania z I etapu ćwiczenia oraz ocena wystawiona ćwiczącemu, uwzględniająca zarówno jego aktywność w trakcie wykonywania formy odlewniczej, jak i jej jakość (II etap ćwiczenia).

LITERATURA

- [1] GÓRNY Z.: *Odlewnictwo metali i stopów*. T. 1. *Wykonanie formy odlewniczej*. Kraków, Wydaw. Instytutu Odlewnictwa, 1996.
- [2] TABOR A., RĄCZKA J.S.: *Odlewnictwo*. Kraków, Wydaw. FOTOBIT, 1996.
- [3] PERZYK M., WASZKIEWICZ S., KACZOROWSKI M., JOPKIEWICZ A.: *Odlewnictwo*. Warszawa, WNT, 2000.
- [4] SZWEYCER M., NAGOLSKA D.: *Metalurgia i odlewnictwo*. Poznań, Wydaw. Politechniki Poznańskiej, 2002.
- [5] KOSOWSKI A.: *Podstawy odlewnictwa*. Kraków, Wydaw. AKAPIT, 2006.
- [6] PIEKARSKI B.: *Ćwiczenia laboratoryjne z odlewnictwa*. Szczecin, Wydaw. Politechniki Szczecińskiej, 2006.
- [7] *Poradnik inżyniera. Odlewnictwo*. Warszawa, WNT, 1986.
- [8] MURZA-MUCHA P.: *Techniki wytwarzania. Odlewnictwo*. Warszawa, PWN, 1978.
- [9] *Odlewnictwo – ćwiczenia laboratoryjne*. Red. J. Gawroński. Gliwice, Politechnika Śląska, 1993.
- [10] FAŁĘCKI Z.: *Podstawy formowania z modeli odlewniczych*. Kraków, Wydaw. AGH, 1997.

Ćwiczenie 4

KONCEPCJA TECHNOLOGICZNA WYKONANIA ODLEWU Z ŻELIWA SZAREGO

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z:

- dokumentacją technologiczną odlewniczą;
- zasadami opracowywania rysunku koncepcji technologicznej wykonania odlewu na przykładzie elementu odlewianego z żeliwa szarego z grafitem płatkowym.

Ćwiczenie stanowi całość z ćwiczeniami nr 2 i 3 ze względu na opisywane zagadnienia.

4.1. WPROWADZENIE

Uruchomienie produkcji odlewu poprzedza opracowanie odpowiedniej dokumentacji technologicznej. Skład i sposób przygotowywania dokumentacji powinien zależeć głównie od wielkości produkcji, kształtu i wymaganej dokładności odlewu.

Dokumentację technologiczną odlewniczą, w tradycyjny sposób, opracowuje się w jednej z trzech odmian [1–4], jako:

- projekt uproszczony – dla jednostkowej i małoseryjnej produkcji prostych i niedużych odlewów;
- projekt pełny – dla seryjnej i masowej produkcji małych i średnich odlewów bez względu na stopień skomplikowania ich kształtu oraz dla jednostkowej i małoseryjnej produkcji dużych i skomplikowanych odlewów;
- projekt rozwinięty – dla masowej produkcji bez względu na wielkość i kształt odlewu oraz dla seryjnej produkcji dużych i skomplikowanych odlewów.

W projekcie uproszczonym do uruchomienia produkcji wymagany jest przede wszystkim rysunek koncepcji technologicznej wykonania odlewu. W ramach pozostałych projektów wykonuje się dodatkowo analizę technologiczności konstrukcji odlewu, szczegółową dokumentację techniczną zespołu modelowego oraz prowadzi się techniczną, a nawet ekonomiczną (w rozwiniętym projekcie) analizę wykonania odlewu w aspekcie możliwych do zastosowania metod odlewania.

W poprzednich dziesięcioleciach obowiązywały w kraju określone normami, ścisłe zasady przygotowywania dokumentacji technologicznej odlewniczej. Głównie miało to na celu zapewnienie odpowiedniego poziomu technicznego i ujednolicenie wyglądu dokumentacji w odlewniach. Obecnie o sposobie przygotowania i składzie dokumentacji decydują przede wszystkim wymagania systemów zapewnienia jakości obowiązujące w danej odlewni [4].

Rysunek koncepcji technologicznej jest zawsze podstawowym składnikiem każdej dokumentacji. Opracowuje się go, nanosząc na rysunek konstrukcyjny elementu odlewanego odpowiednie informacje konstrukcyjno-technologiczne w kolorach: czerwonym, niebieskim oraz zielonym [5, 6]. Zawarte na nim informacje określają sposób wykonania odlewu, ale przede wszystkim są zbiorem wytycznych umożliwiających wykonanie oprzyrządowania odlewniczego (głównie modelu odlewu, elementów układu wlewowego oraz rdzennic/rdzennicy) w modelarni. Ponadto opracowuje się szereg powszechnie obowiązujących instrukcji, takich jak: wykonania masy formierskiej i rdzeniowej, przygotowania ciekłego metalu, obróbki cieplnej odlewu itd.

Rysunek koncepcji technologicznej powinien zawierać następujące podstawowe dane [1–6]:

1. Masę surowego odlewu z układem wlewowym.
2. Oznaczenie powierzchni podziału modelu.
3. Wartość skurczu liniowego materiału odlewu.
4. Naddatki technologiczne, takie jak: pochylenia odlewnicze, wypełnienie wnęk i otworów, promienie wyokrągłeń.
5. Naddatki na obróbkę skrawaniem.
6. Rozmieszczenie i obrys rdzeni wraz ze zwymiarowanymi znakami rdzeniowymi modelu i gniazdami rdzennic.
7. Kształt, wymiary i położenie układu wlewowego.
8. Oznaczanie rodzaju i miejsca usytuowania ochładzalników (o ile będą użyte).

Graficzny sposób przedstawiania danych (pkt 3–8) na rysunku koncepcji technologicznej pokazano w tab. 4.1. Pozostałe omówiono w kolejnych punktach.

1. Masa surowego odlewu z układem wlewowym. Przybliżoną masę odlewu z układem wlewowym pozwala wyznaczyć równanie:

$$m = V_{\text{odl}} \cdot \gamma \cdot k, \text{ kg} \quad (4.1)$$

gdzie:

- V_{odl} – objętość surowego odlewu, m^3 ,
- γ – gęstość stopu, kg/m^3 (dla żeliwa $\gamma = 7200 \text{ kg}/\text{m}^3$),
- K – współczynnik charakteryzujący uzysk ciekłego metalu zależny od rodzaju stopu; ($k = 1,3$ dla żeliwa szarego, $k = 1,7$ dla staliwa oraz $1,45$ dla stopów Cu).

2. Oznaczenie powierzchni podziału modelu. Podział modelu jest powierzchnią rozgraniczającą poszczególne jego części. Powierzchnię podziału oznacza się na rysunku grubą linią niebieską kreska-kropka zakończoną z obu stron krzyżykami i z jednej strony strzałkami (tab. 4.1). Powierzchnia podziału powinna:

- być płaska, przechodzić przez największy przekrój odlewu i jednocześnie umożliwić łatwe usuwanie modelu z formy;
- dzielić model najlepiej tylko na dwie części (bez części luźnych), przy czym elementy odlewu, których wzajemne położenie jest ściśle ustalone, powinny być odtwarzane w jednej połowie formy i/lub przez jeden rdzeń;
- ograniczyć do minimum liczbę stosowanych rdzeni;
- nie utrudniać procesu oczyszczania odlewu.

Tabela 4.1. Oznaczenia wprowadzane na rysunku koncepcji technologicznej wykonania odlewu (PN-89/H-01570. Dokumentacja technologiczna odlewnicza. Zasady wykonywania rysunków dla odlewów z form piaskowych)

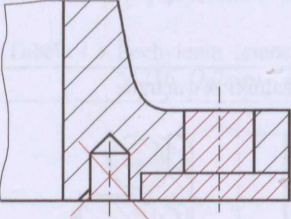
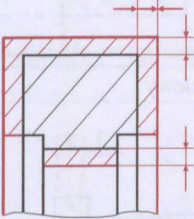
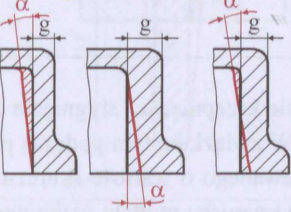
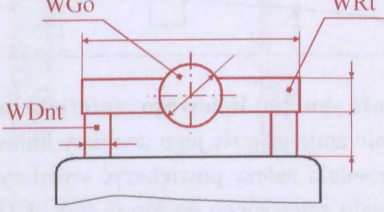
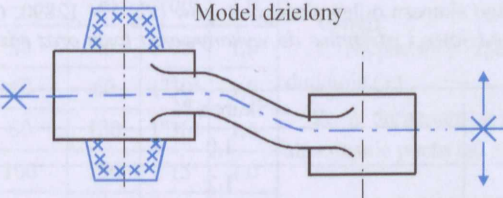
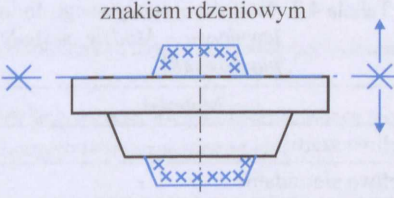
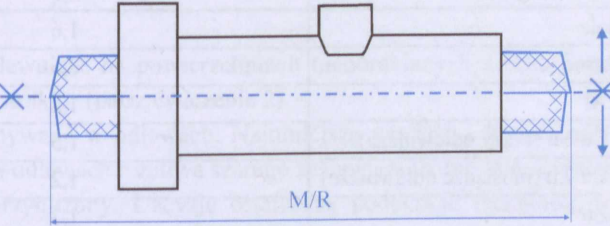
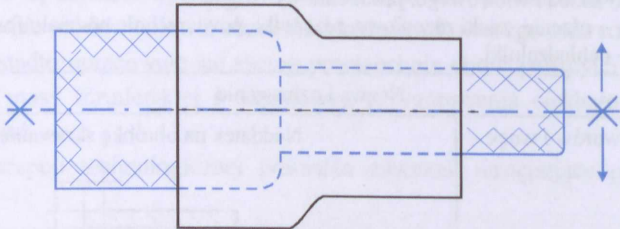
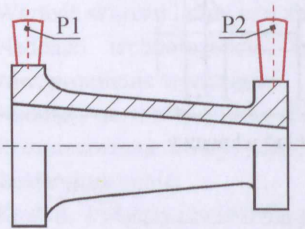
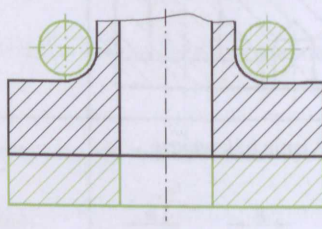
Wszystkie nanoszone dane wykonuje się liniami w następujących kolorach: - czzerwonym – wypełnienia otworów i wnęk, naddatki na obróbkę skrawaniem, pochylenia odlewnicze, elementy układu wlewowego, promienie wyokrągłeń, - niebieskim – rdzenie, znaki rdzeniowe, rdzenniki, powierzchnie podziału formy, - zielonym – ochładzalniki.	
Nazwa i oznaczenie	
Wypełnienie otworów i wnęk 	Naddatek na obróbkę skrawaniem 
Pochylenia odlewnicze 	Układ wlewowy 
Powierzchnia podziału modelu i formy Model dzielony  Model niedzielony z luźnym znakiem rdzeniowym 	
Znaki rdzeniowe 	

Tabela 4.1. Oznaczenia wprowadzane na rysunku koncepcji technologicznej wykonania odlewu (PN-89/H-01570. Dokumentacja technologiczna odlewnicza. Zasady wykonywania rysunków dla odlewów z form piaskowych) (cd.)

Nazwa i oznaczenie	
Rdzenniki i rdzenie rysowane wewnątrz odlewu 	
Przelewy 	Ochładzalniki zewnętrzne 

3. Wielkość skurczu liniowego materiału odlewu. W czasie krzepnięcia i stygnięcia odlewu w formie zmieniają się jego wymiary liniowe i objętość. W związku z tym podczas projektowania modelu należy powiększyć wymiary elementu odlewane go o wartość skurczu liniowego metalu zalewanego do formy (tab. 4.2). Powiększone wymiary modelu zrekompen-sują zmniejszenie liniowych wymiarów odlewu w czasie jego stygnięcia w stanie stałym.

Tabela 4.2. Wartość normatywnego liniowego skurczu odlewniczego stopów (PN-EN 12890. Odlewnictwo – Modele, zespoły modelowe i rdzennice do wykonywania form oraz rdzeni piaskowych)

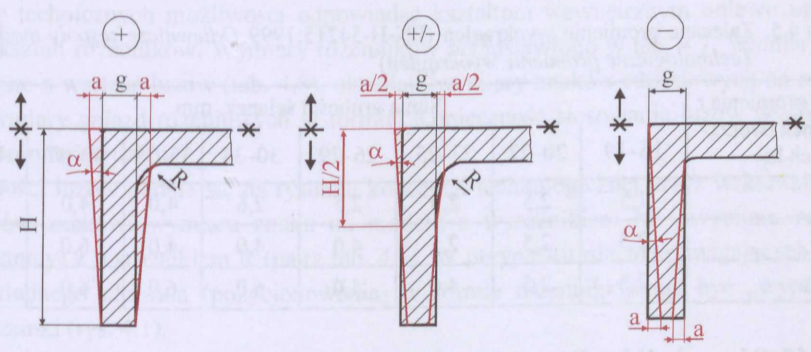
Materiał	Skurcz, %
Żeliwo szare	1,0
Żeliwo sferoidalne	1,2
Staliwo	2,0
Staliwo austenityczne manganowe	2,3
Żeliwo ciągliwe białe	1,6
Żeliwo ciągliwe czarne	0,5
Odlewnicze stopy Al	1,2
Odlewnicze stopy Cu-Sn (brązy odlewnicze)	1,5
Odlewnicze stopy Cu-Zu (mosiądze odlewnicze)	1,2
Odlewnicze stopy Zn	1,3
Odlewnicze stopy Ni	2,1

Wartość skurczu wpisuje się kolorem czerwonym na rysunku wraz z innymi uwagami dotyczącymi wykonania oprzyrządowania odlewniczego. Dla żeliwa szarego z grafitem płatkowym przyjmuje się zwykle skurcz równy 1% (oznaczenie na rysunku – Skurcz 1%).

4. Naddatki technologiczne (pochylenia odlewnicze, wypełnienie wnęk i otworów, promienie wyokrągłeń).

Pochylenia odlewnicze – pochylenia pozwalające na swobodne usunięcie modelu z formy. Wprowadza się je po wybraniu powierzchni podziału formy, gdyż zależą od kierunku wyjmowania modelu. W zależności od kształtu odlewu, rodzaju powierzchni (obrabiana bądź nieobrabiana) i dokładności wymiarowej rozróżnia się trzy typy pochyłeń (tab. 4.3): dodatnie (+), mieszane (+/-) i ujemne (-).

Tabela 4.3. Pochylenia ścianek odlewów formowanych ręcznie w formach piaskowych (PN-H-54216. *Odlewy – Pochylenia odlewnicze*)



Wysokość, H		$\alpha, ^\circ$	a, mm
powyżej	do		
—	20	$3^{\circ}00'$	1,0
20	40	$3^{\circ}00'$	1,0
40	60	$1^{\circ}30'$	1,0
60	100	$1^{\circ}30'$	1,5
100	150	$1^{\circ}15'$	2,0
150	250	$1^{\circ}00'$	2,5
250	400	$0^{\circ}45'$	3,5

Uwagi:

1. Na powierzchniach obrabianych należy stosować pochylenia dodatnie (+).
2. W drewnianych modelach wykonywanych ręcznie zaleca się stosowanie pochyłeń mieszanych (+/-) oraz ujemnych (-).

Pochylenia odlewnicze na powierzchniach nieobrabianych mechanicznie może wprowadzać również konstruktor (patrz ćwiczenie 2).

Otworki wykonywane w odlewach. Najmniejsze wielkości średnic odlewanych otworów wykonywanych w odlewach z żeliwa szarego zestawiono w tab. 4.4. Zalecane w niej wartości mają charakter przybliżony. Decyzję ostateczną podejmuje technolog, wykorzystując doświadczenie własne.

Tabela 4.4. Średnica otworów w odlewach z żeliwa wykonywanych w formach piaskowych [1, 2]

Otwory wykonane na „gotowo” (nieobrabiane mechanicznie)	Grubość ścianki odlewu, mm	6–20	20–40	40–50
	Średnica odlanego otworu, mm	6–10	10–15	12–18
Minimalna średnica odlanego otworu przeznaczonego do obróbki skrawaniem	Produkcja:			
	masowa	20 mm		
	seryjna	30 mm		
	jednostkowa	50 mm		

Promienie wyokrągłeń. Miejsca łączenia ścian w odlewie wymagają wprowadzania promieni wyokrągłeń ze względu na mechanizm zagęszczania masy, usuwanie modelu z formy, a także zmniejszanie naprężeń cieplnych. Wartość promieni uzależnia się od sumy grubości zbiegających się ścianek i wartości kąta zawartego między nimi (tab. 4.5).

Tabela 4.5. Zalecane promienie wyokrągłeń (PN-H-54215:1999 *Odlewnicze zespoły modelowe – Technologiczne promienie wyokrągłeń*)

Wartość promienia r dla ścianek tworzących kąt	Suma grubości ścianek, mm							
	16–19	20–22	23–25	26–29	30–34	35–39	40–47	48–49
Ostry	1,5	2,5	2,5	2,5	2,6	4,0	4,0	4,0
Prosty	2,5	2,5	2,5	4,0	4,0	4,0	6,0	6,0
Rozwarty	2,5	2,5	4,0	4,0	6,0	6,0	6,0	10,0

5. Naddatki na obróbkę skrawaniem. Są to naddatki materiału na surowym odlewie pozwalające na usunięcie przez obróbkę skrawaniem skutków odlewania na powierzchni i uzyskanieżądanego jej stanu oraz niezbędnej dokładności wymiarowej. Przykładowe wartości naddatków na obróbkę skrawaniem dla odlewów z żeliwa szarego zestawiono w tab. 4.6.

Tabela 4.6. Naddatki na obróbkę skrawaniem dla odlewów z żeliwa szarego z grafitem płatkowym ręcznie formowanych w formach piaskowych (PN-ISO 8062:1997. *Odlewy. System tolerancji wymiarowych i naddatków na obróbkę skrawaniem*)

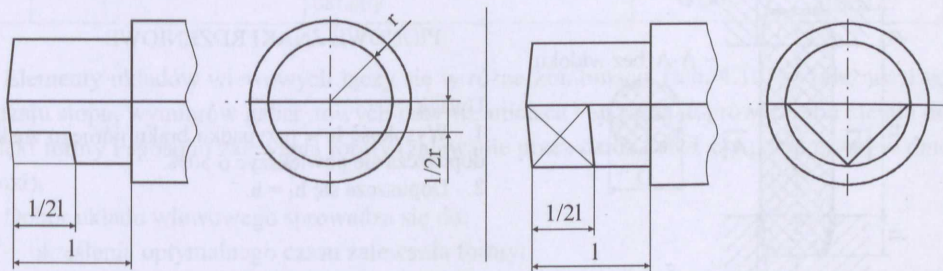
Największy zewnętrzny wymiar odlewu po końcowej obróbce, mm						
do 40	40–63	63–100	100–160	160–250	250–400	400–630
Naddatki ¹⁾ , mm						
0,5	0,7	1,4	2,2	2,8	3,5	4,0
¹⁾ Stopień naddatku na obróbkę (G) dla odlewów z żeliwa szarego wykonywanych w formach piaskowych formowanych ręcznie.						
Uwagi: zmiana wartości naddatków może nastąpić jedynie za zgodą zamawiającego. Dotyczy to m.in. następujących sytuacji:						
– możliwości techniczne odlewni wymagają ich zwiększenia lub też umożliwiają ich zmniejszenie,						
– konieczne jest ich zwiększenie dla otworów i/lub górnej powierzchni odlewów (w praktyce dopuszcza się zwiększanie wartości naddatków o 50% w porównaniu z wartościami podanymi w tabeli).						

W odlewach można utrzymać wymiary zaznaczone na ich rysunku konstrukcyjnym jedynie w pewnych granicach. Jest to spowodowane głównie:

- obijaniem modelu przed jego wyciągnięciem z formy;
- wprowadzaniem powierzchni podziału formy;
- nierównomiernym lub/i zbyt słabym zagęszczeniem masy formierskiej;
- niedokładnością maszyn i narzędzi formierskich;
- niedokładnością w trakcie wkładania rdzeni do formy oraz przemieszczaniem się rdzeni w formie w trakcie jej składania i zalewania ciekłym metalem;
- nierównomiernym skurczem odlewu.

6. Rozmieszczenie i obrys rdzeni wraz ze zwymiarowanymi znakami rdzeniowymi modelu i gniazdami rdzennic. Rdzenie odwzorowują zwykle wewnętrzne kształty odlewu. Ich nieodzowną częścią są rdzenniki służące do ustawiania rdzeni w formie. Kształt rdzenia, ze względu na dokładność wykonania elementu i koszt zespołu modelowego, powinien w miarę technicznych możliwości odpowiadać kształtom wewnętrznym odlewu uzupełnionym o kształt rdzenników. Wymiary rdzenników przedstawiono w tab. 4.7. Wymiary te, powiększone o wartość luzów (tab. 4.8), określają wymiary znaków rdzeniowych na modelach oraz wymiary gniazd rdzeniowych w formie. Konieczność stosowania luzów wynika z warunków montażu rdzeni.

Wartości luzów podaje się na rysunku koncepcji technologicznej przez wskazanie dwóch wymiarów znaków: wymiaru znaku na modelu z wyróżnikiem M i wymiaru rdzennika (w rdzennicy) z wyróżnikiem R (patrz tab. 4.1). W przypadku rdzeni wymagających uzyskania dokładnego ułożenia (pozycjonowania) w formie rdzenniki mogą być „wypożazone” w tzw. zamki (rys. 4.1).

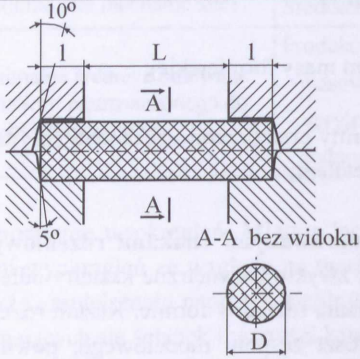


Rys. 4.1. Konstrukcja zamków znaków rdzeniowych zabezpieczających rdzenie przed obrotem we wnętrzu formy [10]

7. Kształt, wymiary i położenie układu wlewowego. Układ wlewowy to system kanałów, wnęk i innych elementów formy przeznaczony do ciągłego, równomiernego i spokojnego doprowadzenia ciekłego metalu do wnęki formy oraz zatrzymania zanieczyszczeń niemetalowych.

Nazwy i funkcje poszczególnych elementów układów wlewowych przedstawiono w ćwiczeniu 3 (tab. 3.2), a ich typy oraz sposób oznaczania wg Polskiej Normy zestawiono w tab. 4.9.

Tabela 4.7. Głównie wymiary znaków rdzeniowych w modelach formowanych w wilgotnych formach piaskowych (BN-76/4042-22. *Odlewnicze zespoły modelowe. Główne wymiary znaków rdzeniowych*)

 A-A bez widoku		POZIOME ZNAKI RDZENIOWE			
		Uwagi: 1. Znak rdzenia umocowanego tylko w jednym gnieździe może być powiększony do wielkości równej L. 2. Znak rdzenia zamocowanego w więcej niż w dwóch gniazdach można zmniejszyć o 30–50%.			
Wymiar znamionowy D, mm		Długość rdzenia L, mm			
powyżej	do	do 50	50–150	150–300	300–500
		l, mm			
—	25	15	25	40	—
25	50	20	30	45	60
50	100	25	35	50	70
100	200	30	40	55	80

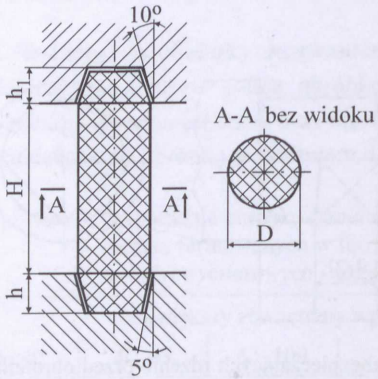
 A-A bez widoku		PIONOWE ZNAKI RDZENIOWE			
		Uwagi: 1. Wysokość h w przypadku braku górnego znaku dopuszcza się powiększyć o 50%. 2. Dopuszcza się $h_1 = h$.			
Wymiar znamionowy D, mm		Wysokość rdzenia H, mm			
powyżej	do	do 50	50–150	150–300	300–500
		h / h ₁ , mm/mm			
—	25	20/15	25/15	40/25	50/30
25	50	20/15	30/20	40/25	50/30
50	100	25/15	30/20	40/25	50/30
100	200	30/20	35/20	40/25	50/30

Tabela 4.8. Wartości luzów między rdzennikiem a gniazdem rdzeniowym zalecane przy produkcji odlewów z żeliwa (BN-76/4042-22. *Odlewnicze zespoły modelowe. Główne wymiary znaków rdzeniowych*)

Długość L lub wysokość H rdzenia, mm		Wymiar nominalny, mm		
powyżej	do	do 80	80–150	150–250
–	250	0,25	0,50	0,75

Tabela 4.9. Rodzaje i typy elementów układów wlewowych (PN-H-54231:2000. *Odlewnicze zespoły modelowe – Elementy układów wlewowych*)

Rodzaj		Symbol	Typ		Numer elementu
			nazwa	symbol	
Zbiornik wlewowy		ZW	czasowy z wlewem głównym okrągłym	ZWco	1–3
			stożkowy	ZWs	22–34
Wlew	główny	WG	okrągły	WGo	1–119
	rozprowadzający	WR	trapezowy	WRt	1–69
	doprowadzający	WD	niski trapezowy	WDnt	1–66
			wysoki trapezowy	WDwt	67–157
			trójkątny	WDt	158–178
			półokrągły	WDp	179–203
			okrągły	WDo	204–229

Elementy układów wlewowych łączy się w różne kombinacje (tab. 4.10) w zależności od rodzaju stopu, wymiarów gabarytowych odlewu, miejsca i sposobu doprowadzania metalu do wnętrza formy i sposobu zalewania formy (zalewanie przez dziób kadzi czy przez otwór w dnie kadzi).

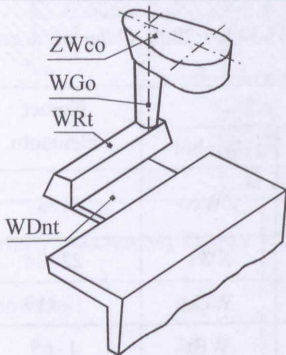
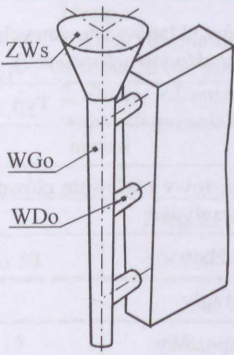
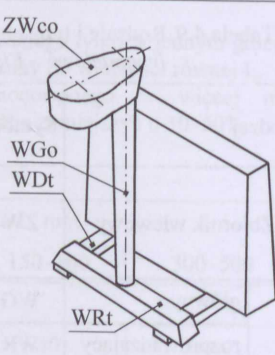
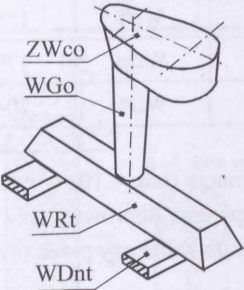
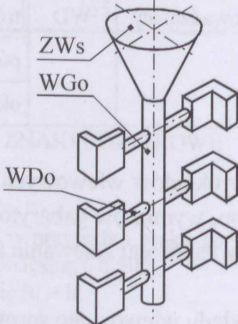
Dobór układu wlewowego sprowadza się do:

- określenia optymalnego czasu zalewania formy;
- obliczenia przekroju wlewów: doprowadzającego, rozprowadzającego i głównego oraz objętości zbiornika wlewowego;
- wyboru odpowiedniego przekroju danego wlewu i typu zbiornika wlewowego.

Podstawy teoretyczne procesu wypełniania formy ciekłym metalem opierają się na umownym założeniu, że ciekły metal, podobnie jak woda (w pewnym przybliżeniu), zachowuje się jak znana z hydrodynamiki „ciecz doskonała”, tzn. pozbawiona ściśliwości i tarcia wewnętrznego, czyli lepkości. Dlatego możliwe jest skorzystanie z równań hydromechanicznych do próby opisu przepływu ciekłego metalu przez kanały formy. W przepływach cieczy rzeczywistej wyróżnia się przepływy warstwowe (laminarne) i burzliwe (turbulentne) [11].

Najbardziej typowym układem dla prostych i niedużych odlewów z żeliwa szarego jest układ doprowadzający ciekły metal do wnęki formy z boku w płaszczyźnie podziału położonej poziomo (patrz tab. 4.10).

Tabela 4.10. Schemat budowy typowych układów wlewowych [2, 3]

Miejsce i sposób wprowadzania metalu do wnęki formy		
z boku	na różnych poziomach	od dołu syfonowo
		
z boku		w płaszczyźnie podziału położonej pionowo
		

8. Obliczanie optymalnego czasu zalewania formy τ – czasu potrzebnego do właściwego (gwarantującego otrzymanie zdrowego odlewu) wypełnienia wnęki formy przez ciekły metal.

Czas τ można wyznaczyć m.in. z empirycznego wzoru Sobolewa [3]:

$$\tau = S \cdot (g \cdot m)^{1/3}, s \quad (4.2)$$

gdzie:

S – współczynnik zależny od rodzaju stopu i kształtu odlewu (dla drobnych odlewów z żeliwa szarego przyjmuje on wartość 1,4 [3]),

g – średnia grubość ścianki odlewu, mm,

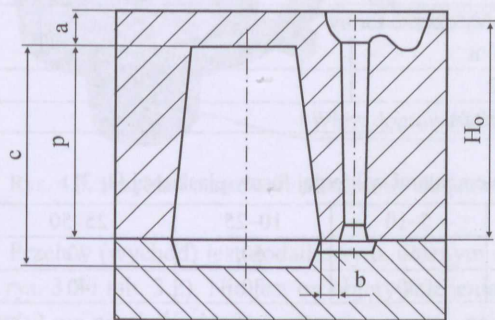
m – masa odlewu wraz z układem wlewowym, kg (patrz równanie (4.1)).

Wyznaczona wartość τ musi zapewnić odpowiednią prędkość podnoszenia metalu v we wnęce formy (tab. 4.11), tak by zapobiec ewentualnym niedolewom. Minimalna prędkość v jest przede wszystkim zależna od grubości ścianek odlewu, a z czasem zalewania danej formy wiąże ją równanie [3]:

$$v = c/\tau, \text{ cm/s} \quad (4.3)$$

gdzie:

c – wysokość wnęki formy (rys. 4.2) w położeniu do zalewania, cm.



Rys. 4.2. Schemat położenia wnęki formy [1–3]: c – wysokość wnęki formy w położeniu do zalewania, cm; p – wysokość części wystająca ponad poziom wlewów doprowadzających, cm; a – odległość między górną powierzchnią wnęki formy a górną powierzchnią formy; b – odległość między modelem a wlewem rozprowadzającym, H_0 – początkowe, maksymalne ciśnienie metalostatyczne (wysokość słupa ciekłego metalu), cm

Tabela 4.11. Zalecana minimalna liniowa prędkość podnoszenia się poziomu metalu w formie dla odlewów z żeliwa szarego [5]

	Średnia grubość ścianki odlewu g , mm			
	do 4	4–10	10–40	powyżej 40
Minimalna prędkość v , cm/s	3–10	2–3	1–2	0,8–1,0

Jeżeli wartość v nie będzie się mieścić w przedziale odpowiednim dla danej grubości ścianki (tab. 4.11), należy rozważyć możliwość zmiany położenia odlewu we wnęce formy (zmienić płaszczyznę podziału modelu) lub (gdy nie jest to możliwe) skorygować wartość τ tak, by spełnić warunek wynikający z zależności (4.3).

9. Obliczanie przekroju wlewów: doprowadzającego (ΣF_{WD}), rozprowadzającego (F_{WR}), głównego (F_{WG}) oraz objętości zbiornika wlewowego (V_z).

Przekrój wlewu doprowadzającego jest dla odlewów żeliwnych przekrojem kontrolującym czas przepływu metalu do wnęki formy. W przypadku zastosowania dla jednego odlewu większej liczby wlewów tym przekrojem jest suma przekrojów wlewów doprowadzających.

Wartość sumy przekrojów wlewów doprowadzających metal do pojedynczego odlewu żeliwnego ΣF_{WD} można wyznaczyć z zależności [1, 2]:

$$\Sigma F_{WD} = 3,22 \cdot m / (\tau \cdot \mu \cdot (h_{sr})^{1/2}), \text{ cm}^2 \quad (4.4)$$

gdzie:

μ – współczynnik sprawności przepływu (tab. 4.12),

$h_{sr} = H_o - p^2/2c$ (oznaczenia jak na rys. 4.2), cm.

Wartość H_o odpowiada w przybliżeniu wysokości górnej połówki formy. By móc ustalić wartość H_o , należy dobrać wysokość skrzynki, a dokładniej przyjąć grubość warstwy masy a ponad górną powierzchnią modelu (patrz rys. 4.2). Zalecane wartości a zestawiono w tab. 4.13.

Tabela 4.12. Średnia wartość współczynnika sprawności μ dla odlewów z żeliwa szarego wykonywanych w wilgotnych formach piaskowych [4]

Wartość μ przy oporze formy		
dużym	średnim	małym
0,35	0,42	0,50 ¹⁾
¹⁾ Zalecana wartość dla odlewów o prostych kształtach.		

Tabela 4.13. Odległości między modelem a elementami wilgotnej formy piaskowej [1–3]

Masa odlewu m, kg	do 5	5–10	10–25	25–50
a, mm	40	50	60	70
b, mm	30	30	30	40

Znając wartość $(p + a)$ i zakładając, że najmniejsza wysokość dostępnych skrzynek formierskich wynosi 150 mm, a wysokość następnych skrzynek wzrasta co 50 mm [6], łatwo można przyjąć wysokość górnej połówki formy.

Pozostałe przekroje wlewów (F_{WR} , F_{WG}) dla małych odlewów z żeliwa szarego oblicza się, przyjmując następujące ich wzajemne proporcje w stosunku do sumarycznego przekroju wlewów doprowadzających [3]:

$$\Sigma F_{WD}: F_{WR} : F_{WG} = 1 : 1,2-1,4 (1,2) : 1,2-1,5 (1,4) \quad (4.5)$$

gdzie wartości w nawiasach są wartościami zalecanymi [3].

Objętość zbiornika wlewowego V_z oblicza się ze wzoru [3]:

$$V_z = 1000 \cdot n \cdot m / (\tau \cdot \gamma), \text{ cm}^3 \quad (4.6)$$

gdzie:

γ – gęstość żeliwa, g/cm³,

n – czas rezerwy metalu (dla $m < 100$ kg $n = 2$ [3]).

Końcowym etapem projektowania układu wlewowego jest dobranie kształtów i wymiarów poszczególnych jego elementów. W tym celu można skorzystać z Polskiej Normy PN-H-54231, w której przedstawiono podstawowe kształty i wymiary elementów układów wlewowych. Wybrane fragmenty tej normy zamieszczono w Załączniku A. Przykład oznaczania dobranych kształtów i wymiarów poszczególnych elementów układu wlewowego przedstawiono na rys. 4.3.

Dobierając kształt i wymiary wlewu doprowadzającego, należy rozpatrzyć, czy ze względu na zapewnienie równomiernego rozkładu temperatury i skrócenie drogi przepływu ciekłego metalu we wnęce formy, nie należy zastosować zamiast jednego wlewu dwóch (lub więcej –

patrz tab. 4.11) wlewów rozmieszczonych symetrycznie na przeciwległych krawędziach bądź na obwodzie (rys. 4.3) odlewu.



Rys. 4.3. Przykład oznaczania elementów układu wlewowego wg Polskiej Normy

Przelew (wychód) jest dodatkowym, ważnym elementem układów wlewowych (ćwiczenie 3, rys. 3.7 i tab. 3.2). Nie jest on objęty zaleceniami Polskiej Normy. Przyjmuje się, że przelew(y) ma przekrój okrągły, ustawia się go w najwyższym punkcie wnętrza formy, a jego wymiary (przekrój) odpowiadają wymiarom dobranego wlewu głównego. Na rysunku przelew oznacza się symbolem P (patrz tab. 4.1), podając jednocześnie jego dolną średnicę i długość. Należy zaznaczyć, że stosowanie przelewów przy wykonywaniu małych odlewów z żeliwa szarego nie jest praktykowane, ponieważ niebezpieczeństwo pozostania powietrza lub innych gazów we wnętrzu formy w trakcie jej wypełniania ciekłym metalem jest znikome. W takim przypadku obecność przelewu jedynie obniża uzysk metalu.

10. Oznaczanie rodzaju i miejsca usytuowania ochładzalników. W celu przyspieszenia krzepnięcia określonych obszarów odlewu umieszcza się w formie metalowe ochładzalniki:

- zewnętrzne – przylegające do powierzchni odlewu (patrz tab. 4.1),
- wewnętrzne – stapiające się z materiałem odlewu, stanowiące następnie jego część.

W drobnych, cienkościennych odlewach z żeliwa szarego nie stosuje się ochładzalników. Informacja na ten temat jest jedynie komentarzem do ich oznaczania na rysunku koncepcji technologicznej (patrz tab. 4.1).

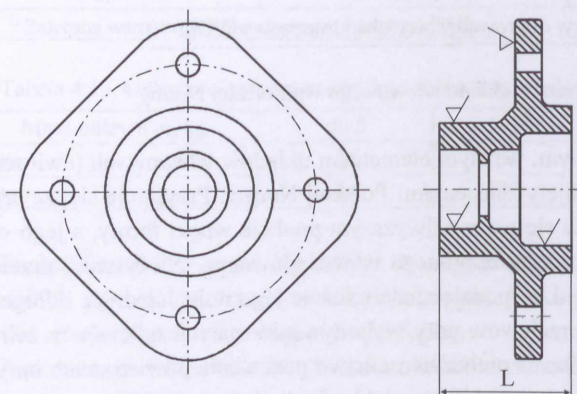
W ćwiczeniu zebrano dane pozwalające na opracowanie rysunku koncepcji technologicznej wykonania prostego i niedużego odlewu z żeliwa szarego z grafitem płatkowym, formowanego ręcznie w formie piaskowej wytwarzanej z wilgotnej masy bentonitowej. To opracowanie, przygotowane wyłącznie na potrzeby realizacji ćwiczenia, jest jedynie fragmentem zbioru informacji potrzebnych do uruchomienia produkcji odlewu. Podejmując więc, w innych warunkach, zadanie zaprojektowania technologii wykonania odlewu, należy bezwzględnie sięgnąć do literatury przedmiotu, np. wskazanej w tym ćwiczeniu.

4.2. PRZEBIEG ĆWICZENIA

Każdy student w trakcie spotkania rozpoczynającego ćwiczenia z odlewnictwa otrzymuje szkic elementu odlewanego (Załącznik B) ze wskazaniem jednego jego wymiaru (L) i powierzchni podlegających obróbce skrawaniem. Przykład takiego szkicu przedstawia rys. 4.4.

Ćwiczenie będzie realizowane dwuetapowo i jest przede wszystkim pomyślane jako samodzielna praca domowa. Przebieg ćwiczenia będzie następujący:

Etap 1. Na podstawie otrzymanego szkicu należy sporządzić rysunek konstrukcyjny elementu odlewanego w formacie A4, ewentualnie A3. Jego poprawność zostanie sprawdzona przez prowadzącego podczas pierwszego spotkania w ramach ćwiczenia nr 4.



Rys. 4.4. Szkic elementu odlewanego – kołnierza

Obowiązują następujące warunki dotyczące wykonania projektu elementu:

1. Produkcja jednostkowa – 100 sztuk.
2. Materiał – żeliwo gatunku EN-GJL-200 (PN-EN 1561:2000. *Odewnictwo – Żeliwo szare*).

3. Zespół modelowy drewniany.

4. Formowanie ręczne w wilgotnych formach piaskowych.

Rysunek konstrukcyjny elementu powinien zawierać:

1. Rysunek wykonawczy elementu odlewanego gotowego odpowiednio opisany.
2. Dane podane w tabeli rysunkowej (rys. 4.5), takie jak: nazwa elementu i ilość sztuk do wykonania, numer rysunku, masa elementu, oznaczenie gatunku materiału odlewu, a także podziałka rysunku (stosunek liczbowy wymiarów przedstawionych na rysunku do odpowiednich rzeczywistych wymiarów liniowych rysowanego elementu). Zalecane są następujące podziałki: 1 : 1, 1 : 2 (1 : 2,5) i 1 : 5.

3. Wielkość tolerancji wymiarowych* [6–10].

4. Chropowatość powierzchni surowego odlewu* [16–10] (tab. 4.14 i 4.15).

5. Rodzaj obróbki cieplnej odlewu*.

* Dane podaje się bezpośrednio na rzutach rysunku lub w wymaganiach co do rysunku.

180

50

	Materiał:		Imię i nazwisko	Podpis	Data	ZACHODNIOPOMORSKI UNIwersYTET TECHNOLOGICZNY w Szczecinie Instytut Inżynierii Materiałowej ODLEWNIA DOŚWIADCZALNA
		Projekt.				
	Masa, kg:	Kreślił				
		Sprawdził				
	Ilość sztuk:	Podziałka:	Nazwa części:			Numer rysunku:

Rys. 4.5. Tabela rysunkowa

Tabela 4.14. Podstawowe symbole graficzne chropowatości (PN ISO 1302:2002. *Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Oznaczanie struktury geometrycznej powierzchni w dokumentacjach technicznych wyrobów*)

Symbol graficzny	Znaczenie
	Symbol podstawowy. Może być stosowany, gdy jego znaczeniem jest „powierzchnia rozważana” lub gdy jest objaśniony za pomocą uwagi. Nie określa żadnego wymagania dotyczącego chropowatości powierzchni
	Powierzchnia obrabiana przez skrawanie. Symbol nie oznacza żadnych szczegółów – nie określa żadnego wymagania dotyczącego chropowatości powierzchni
R_a 1,6 	Stosowany, gdy jego znaczeniem jest „powierzchnia obrabiana przez skrawanie”. Jest w nim określona wartość średniego arytmetycznego odchylenia profilu chropowatości R_a uzyskana przez usunięcie materiału obróbką skrawaniem
	Stosowany na rysunku odnoszącym się do procesu obróbki w celu oznaczenia, że powierzchnia ma pozostać w stanie wynikającym z poprzedniego procesu technologicznego (np. po odlaniu)
R_a 50 	Powierzchnia, z której usunięcie materiału jest niedopuszczalne, a struktura geometryczna powierzchni powinna być uzyskana za pomocą procesu innego niż usunięcie materiału (np. w procesie odlewania)
	Stosowany, jeżeli na wszystkich powierzchniach całego obwodu elementu jest wymagana ta sama struktura geometryczna

Oznaczenie dopuszczalnej chropowatości powierzchni składa się z jednego z symboli z tab. 4.14 i wpisanej nad nim wartości liczbowej największej dopuszczalnej chropowatości. Zalecane jej wartości zastawiono w tab. 4.15.

Przed przystąpieniem do projektowania danego elementu należy znaleźć jego odpowiednik w już istniejących elementach maszyn i urządzeń. Na tej podstawie będzie łatwiej dobrać proporcje oraz grubość ścianek odlewu. Szczególnie ten drugi parametr ma duże znaczenie technologiczne, ponieważ zachowanie minimalnej grubości ścianki odlewu jest konieczne ze względu na wypełnienie metalem formy odlewniczej bez niedolewów. Minimalne grubości ścianek zalecane praktyką odlewniczą zależą od rodzaju stopu i formy (tab. 4.16).

Tabela 4.15. Wybrane wartości liczbowe parametrów R_a i R_z , μm [12]

$R_a^{1)}$	$R_z^{2)}$	R_a	R_z	R_a	R_z	R_a	R_z	R_a	R_z	R_a	R_z
<u>100</u>	<u>400³⁾</u>	16	63	2,5	10	0,5	2,5	0,080	<u>0,40</u>	<u>0,012</u>	0,063
80	320	<u>12,5</u>	<u>50</u>	2	–	<u>0,4</u>	2	0,063	0,32	0,010	<u>0,050</u>
63	250	10	40	–	8	0,32	<u>1,6</u>	<u>0,050</u>	0,25	0,008	0,040
<u>50</u>	<u>200</u>	8	32	<u>1,6</u>	–	0,25	1,25	0,040	<u>0,20</u>	–	0,032
40	160	<u>6,3</u>	<u>25</u>	1,25	<u>6,3</u>	<u>0,20</u>	1	0,032	0,16	–	<u>0,025</u>
32	125	5	20	1	5	0,16	<u>0,80</u>	<u>0,025</u>	0,125		
<u>25</u>	<u>100</u>	4	16	<u>0,8</u>	4	0,125	0,63	0,020	<u>0,100</u>		
20	80	<u>3,2</u>	<u>12,5</u>	0,63	<u>3,2</u>	<u>0,100</u>	0,50	0,016	0,080		

1) R_a – średnie arytmetyczne odchylenie profilu od linii średniej.
2) R_z – średnie wysokości chropowatości wg dziesięciu punktów profilu.
3) Wartości podkreślone są zalecane.

Tabela 4.16. Minimalne grubości ścian odlewów wytwarzanych w formach piaskowych [1, 2]

Rodzaj stopu	Najmniejsza grubość ścianki odlewu, mm		
	małe odlewy	średnie odlewy	duże odlewy
Żeliwo szare	min 3	8–10	12–15
Staliwo	5–7	10–12	15–20
Stopy Cu	3–5	5–8	–
Stopy Al	3–5	5–8	–
Stopy Mg	3–5	5–7	–

Etap 2. Opracowanie koncepcji technologicznej wykonania odlewu na rysunku elementu odlewane.

W trakcie drugiego spotkania w ramach ćwiczenia 4 studenci będą mogli skonsultować z prowadzącym ćwiczenie trafności decyzji, które podjęli co do technologii wykonania odlewu. Przedstawiony do oceny rysunek powinien zawierać wszystkie dane wymienione na początku tekstu wprowadzającego do ćwiczenia.

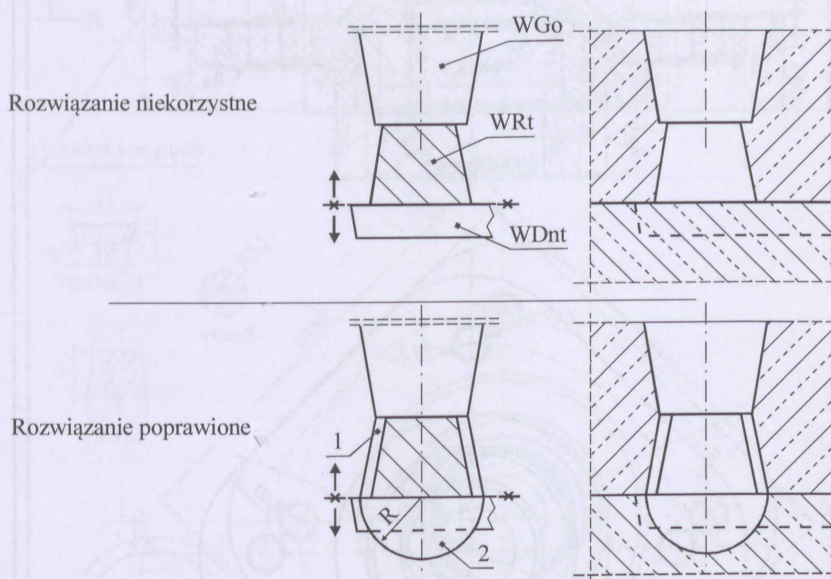
W trakcie doboru poszczególnych elementów układów wlewowych wg Polskiej Normy początkujący technolog napotyka dwie wątpliwości:

1. Wartość przekroju wlewu doprowadzającego wyliczona z równania (4.4) i wartości przekrojów pozostałych elementów przyjęte z zależności (4.5) nie pokrywają się zwykle z wartościami podanymi w normie. W takim przypadku należy oczywiście przyjmować najbliższe im wartości przekrojów z normy. Ważne jest przy tym, by wartości dobieranych przekrojów nie wykraczały poza przedziały podane w zależności (4.5), ponieważ projektowane układy wlewowe są układami zamkniętymi.

2. Średnica wlewu głównego jest zwykle większa od szerokości górnej powierzchni wlewu rozprowadzającego (rys. 4.6) w miejscu ich styku, co powoduje zmniejszenie przekroju

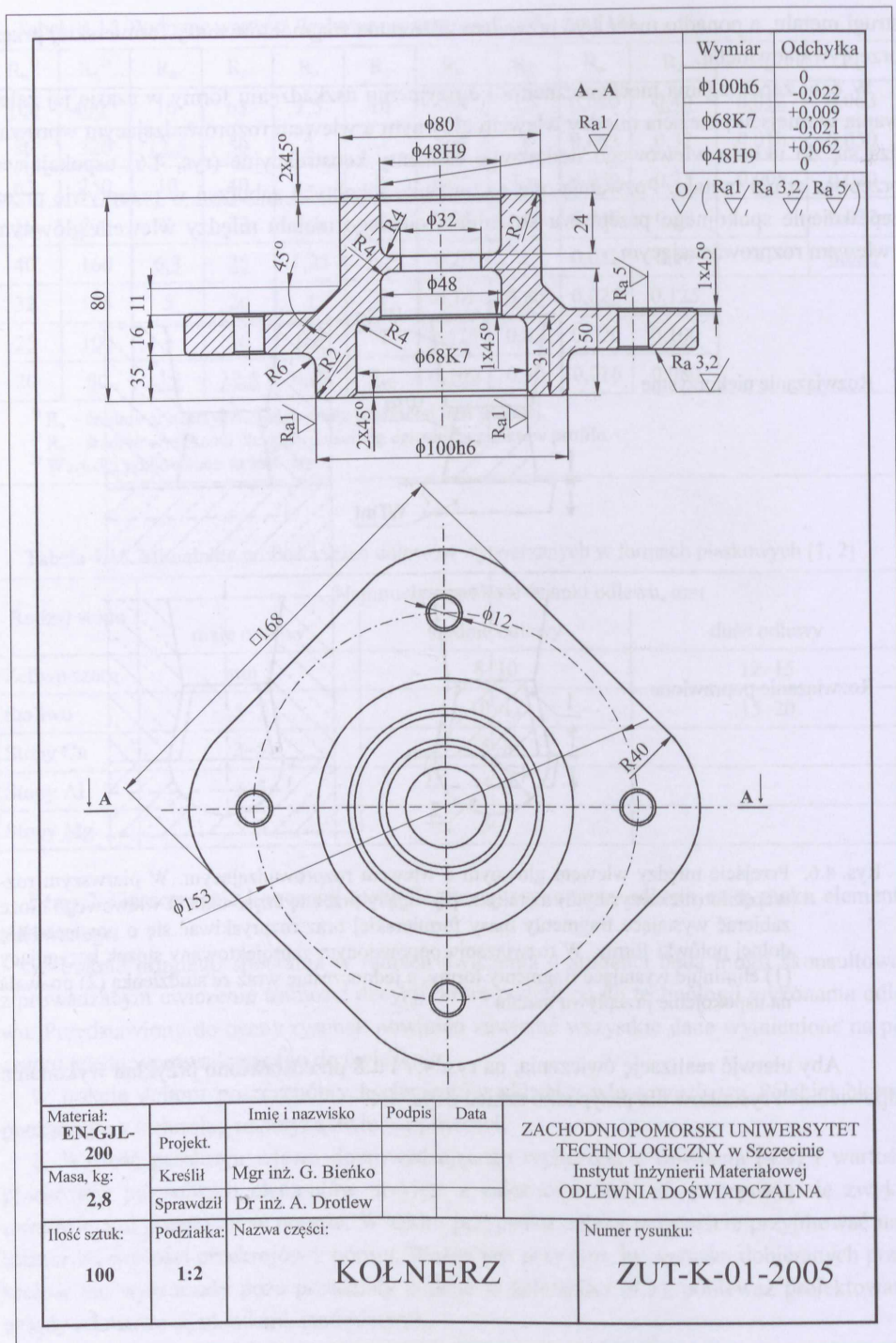
strugi metalu, a ponadto może być powodem zdzierania fragmentów masy formierskiej przez przepływający metal.

W celu zapobiegania mechanicznemu i erozyjnemu uszkodzeniu formy w czasie jej zalewania w miejscu przejścia między wlewem głównym a wlewem rozprowadzającym wprowadza się do układu wlewowego dodatkowe elementy konstrukcyjne (rys. 4.6) uspokajające przepływ strugi metalu. Pozwalają one na unikanie lokalnych zaburzeń w przepływie przez zapewnienie spokojnego przepływu strumienia ciekłego metalu między wlewem głównym i wlewem rozprowadzającym.

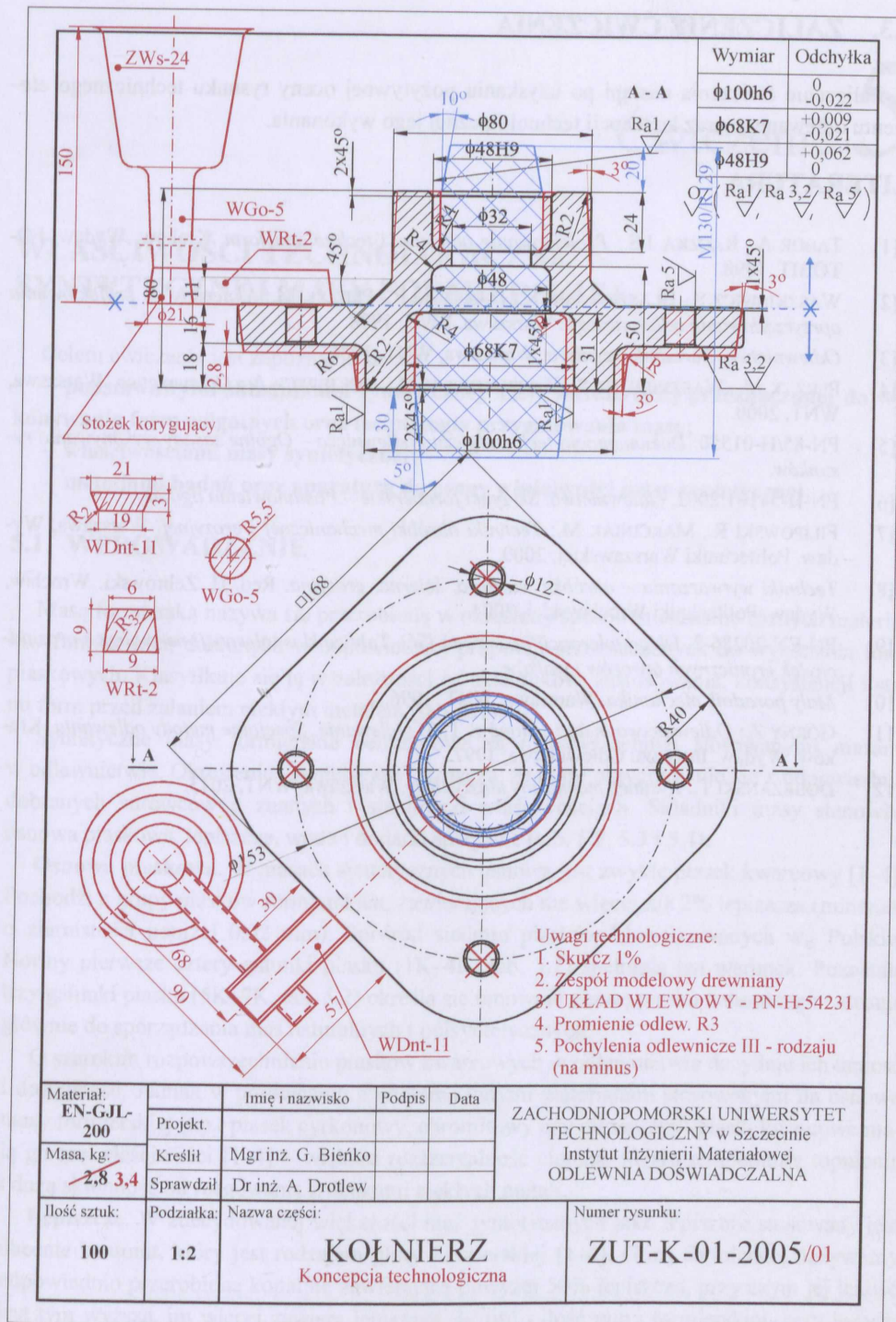


Rys. 4.6. Przejście między wlewem głównym a wlewem rozprowadzającym. W pierwszym rozwiązaniu (niekorzystnym) metal przepływający przez tę część układu wlewowego może zabierać wystające fragmenty masy formierskiej oraz rozpryskiwać się o powierzchnię dolnej połówki formy. W rozwiązaniu poprawionym zaprojektowany stożek korygujący (1) eliminuje wystające fragmenty formy, a jednocześnie wraz ze studzienką (2) pozwala na uspokojenie przepływu metalu

Aby ułatwić realizację ćwiczenia, na rys. 4.7 i 4.8 przedstawiono przykład wykonania odpowiednich rysunków dla przypadku szkicu z rys. 4.4.



Rys. 4.7. Rysunek konstrukcyjny części wykonany na podstawie szkicu z rys. 4.4



Rys. 4.8. Rysunek koncepcji technologicznej wykonany dla odlewu z rys. 4.7.

4.3. ZALICZENIE ĆWICZENIA

Zaliczenie ćwiczenia nastąpi po uzyskaniu pozytywnej oceny rysunku technicznego elementu odlewanego oraz koncepcji technologicznej jego wykonania.

LITERATURA

- [1] TABOR A., RĄCZKA J.S.: *Projektowanie odlewów i technologii form*. Kraków, Wydaw. FO-TOBIT, 1998.
- [2] WASZKIEWICZ S., BŁASZKOWSKI K., HARATYM R., PERZYK M.: *Materiały do projektowania oprzyrządowania odlewniczego*. Warszawa, PWN, 1988.
- [3] *Odlewnictwo. Poradnik inżyniera*. Warszawa, WNT, 1986.
- [4] PERZYK M., WASZKIEWICZ S., KACZOROWSKI M., JOPKIEWICZ A.: *Odlewnictwo*. Warszawa, WNT, 2000.
- [5] PN-85/H-01550. *Dokumentacja technologiczna odlewnicza – Ogólne zasady wykonywania rysunków*.
- [6] PN-H-54101:2002. *Odlewnictwo. Skrzynki formierskie – Postanowienia ogólne*.
- [7] FILIPOWSKI R., MARCINIAK M.: *Techniki obróbki mechanicznej i erozyjnej*. Warszawa, Wydaw. Politechniki Warszawskiej, 2000.
- [8] *Techniki wytwarzania – obróbka wiórowa, ścierna, erozyjna*. Red. H. Żebrowski. Wrocław, Wydaw. Politechniki Wrocławskiej, 2004.
- [9] PN-EN-20286-2. *Układ tolerancji i pasowań ISO. Tablice klas tolerancji normalnych oraz odchylek granicznych otworów i wałków*.
- [10] *Mały poradnik mechanika*. Warszawa, WNT, 1996.
- [11] GÓRNY Z.: *Odlewnictwo metali i stopów. T. 3. Odlewanie. Specjalne metody odlewania*. Kraków, Wydaw. Instytutu Odlewnictwa, 1997.
- [12] DOBRZAŃSKI T.: *Rysunek techniczny maszynowy*. Warszawa, WNT, 2013.

Ćwiczenie 5

WŁAŚCIWOŚCI TECHNOLOGICZNE SYNTETYCZNEJ MASY FORMIERSKIEJ

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z:

- podstawowymi składnikami syntetycznej masy formierskiej przeznaczonej do wykonywania form wilgotnych oraz technologią przygotowania masy;
- właściwościami masy syntetycznej;
- metodami badań oraz aparaturą do oceny właściwości masy syntetycznej.

5.1. WPROWADZENIE

Masą formierską nazywa się przerobioną w określony sposób mieszaninę różnych materiałów formierskich dobranych w odpowiedniej proporcji przeznaczonych do wykonania form piaskowych. Klasyfikuje się ją w zależności od składników, zastosowania, konsystencji i stanu form przed zalaniem ciekłym metalem (tab. 5.1).

Syntetyczne masy formierskie bentonitowe są najpowszechniej stosowanymi masami w odlewnictwie. Określenie „syntetyczne” oznacza, że masę przygotowuje się z odpowiednio dobranych surowców o znanych i stabilnych właściwościach. Składniki masy stanowią: osnowa piaskowa, lepiszcze, woda i dodatki specjalne (tab. 5.2, 5.3 i 5.4).

Osnowa piaskowa. W masach syntetycznych osnową jest zwykle piasek kwarcowy [1–4]. Pochodzi z grupy piasków formierskich, zawierających nie więcej niż 2% lepiszcza (minerału o ziarnistości poniżej 0,02 mm). Spośród siedmiu piasków klasyfikowanych wg Polskiej Normy pierwsze cztery gatunki piasku (1K–4K, tab. 5.2) spełniają ten warunek. Pozostałe trzy gatunki piasku (5K–7K, tab. 5.2) określa się umownie nazwą piasku naturalnego i stosuje głównie do sporządzania mas naturalnych i półsyntetycznych.

O szerokim rozpowszechnieniu piasków kwarcowych w odlewnictwie decyduje ich taniość i dostępność. Jednak w porównaniu z wieloma innymi materiałami stosowanymi na osnowę masy formierskiej (np.: piasek cyrkonowy, chromitowy czy oliwinowy) piaski kwarcowe mają gorsze właściwości [1–4] – większą rozszerzalność cieplną, niższą temperaturę topnienia i dużą skłonność od reagowania z tlenkami ciekłych metali.

Lepiszcze. W zdecydowanej większości mas syntetycznych jako lepiszcze stosowany jest obecnie bentonit, który jest rodzajem gliny formierskiej [1–4]. Gliną formierską nazywamy odpowiednio przerobioną kopalinę zawierającą powyżej 50% lepiszcza, przy czym jej jakość jest tym wyższa, im więcej zawiera lepiszcza. Jakość i ilość gliny formierskiej, przy innych parametrach stałych, decyduje o wytrzymałości masy syntetycznej [1–4].

Tabela 5.1. Klasyfikacja mas formierskich [1]

		Masy formierskie	
Podział mas formierskich ze względu na	dobór składników masy	naturalne	
		półsyntetyczne	
		syntetyczne	
	rodzaj stopu wlewanego do formy	na odlewy	żeliwne
			staliwne
			z metali nieżelaznych
	konsystencję masy	sypkie	
		ciekłe	
	stan formy przed zalaniem	na formy	wilgotne
			suszone lub wypalane
			podsuszone powierzchniowo
			utwardzane chemicznie
	stosowanie przy formowaniu	przymodelowe	
		wypełniające	
		jednolite	
		na rdzenie (masy rdzeniowe)	
		specjalne	

Tabela 5.2. Podział piasków kwarcowych wg zawartości lepiszcza i wymagań (PN-/H-11001. *Odelewnicze materiały formierskie. Kwarcowe piaski formierskie*)

Gatunek	Zawartość, % mas.				Temp. spiekania min., °C	Frakcja główna	
	lepiszcza max.	SiO ₂ max.	Fe ₂ O ₃ max.	węglanów max.		wskaźnik ¹⁾ jednorodności, min. %	Numerы sit ²⁾ (PN-83/H-11077)
1K	0,2	98	0,5	0,3	1400	80	0,63/0,40/0,32 0,40/0,32/0,20 0,32/0,20/0,16 0,20/0,16/0,10 0,16/0,10/0,071 0,10/0,071/0,056
2K	0,5	96	1,0	0,5	1400	75	
3K	1,0	96	1,0	0,5	1350	70	
4K	2,0	–	1,0	1,0	1350	65	
5K	2–8	–	–	1,0	–	60	
6K	8–15	–	–	1,0	–	50	
7K	15–35	–	–	1,0	–	50	

¹⁾ Piaski jednorodne to takie, których wartość frakcji głównej wynosi min. 80%.

²⁾ Podane liczby są numerami trzech kolejnych sit (równocześnie prześwitami oczek sit w milimetrach), na których w czasie przesiewania zebrala się największa ilość osnowy piaskowej – frakcji głównej.

Przykład oznaczania gatunku piasku 3K o frakcji głównej 0,63/0,40/0,32:
Piasek formierski kwarcowy 3K – 0,63/0,40/0,32 (PN-/H-11001).

Tabela 5.3. Gatunki i wymagane właściwości bentonitu odlewniczego (PN-/H-11003. *Odlewnicze materiały formierskie – Bentonit odlewniczy*)

Gatunek	Zawartość			Analiza sitowa		Wskaźnik pęcznienia	Wytrzymałość na ściskanie na wilgotno	Osypliwość	
	montmorylonit	woda	węglany	odsiew przeliczony na sicie					
				0,16 mm	0,056 mm				
	min.	max.					min.	max.	
	%						cm ³	MPa	%
I ¹⁾	75	12	5	2	20	min. 15	0,07	—	
II ²⁾	—	6	5	2	20	powyżej 10	0,055	5	
III ²⁾	—	6	5	2	20	7 –10	0,045	5	

¹⁾ Bentonit w gatunku I jest importowany; w gatunkach II i III wytwarzany jest z surowców krajowych.

²⁾ Zawartość montmorylonitu ok. 50%.

Tabela 5.4. Najważniejsze dodatki węglowe i węglpochodne do mas formierskich [1–3] (PN-/H-11008. *Odlewnicze materiały formierskie – Pył węglowy*)

Materiały węglowe i węglpochodne	
Pył węgla kamiennego	zawartość wilgoci: ≤ 2% zawartość części lotnych: 30–40% zawartość popiołu: ≤ 4% zawartość siarki całkowitej: ≤ 0,8% stopień rozdrobnienia; zawartość ziarn poniżej 0,21 mm: ≤ 10%
Pył kokсовy	zawartość wilgoci: ≤ 6% zawartość części lotnych: ≤ 1,8% zawartość popiołu: ≤ 11,5% zawartość siarki całkowitej: ≤ 1,0% stopień rozdrobnienia; pozostałość na sicie nr 0,4 – 0%, na sicie nr 0,32 ≤ 10%, na sicie nr 0,16 ≤ 20%; pozostała ilość pyłu powinna przejść przez sito nr 0,16
Grafit	zawartość części lotnych: ≤ 1,0% zawartość popiołu: ≤ 10% zawartość siarki całkowitej: ≤ 1,0% brak objawów burzliwego spalania w temperaturze 1300°C w atmosferze tlenu; popiół nie powinien być stopiony stopień rozdrobnienia: – pył grafitowy; pozostałość na sicie nr 0,2 – 0%, na sicie nr 0,16 ≤ 5%, na sicie nr 0,16 ≤ 20%; pozostała ilość pyłu powinna przejść przez sito nr 0,16 – grafit płatkowy; płatki o wielkości: 5 mm, 0,5–2 mm i 2–5 mm

Najpowszechniej stosowaną gliną jest bentonit zawierający ponad 70% minerałów z grupy montmorylonitu. Gliny o mniejszej zawartości tych minerałów nazywamy zwykle ilami bentonitowymi (tab. 5.3).

Woda. Jest niezbędnym składnikiem mas syntetycznych, ponieważ warunkuje wiązanie ziarn osnowy przez glinę, czyli nadanie masie odpowiedniej wytrzymałości. Jej zawartość w masie decyduje również o innych właściwościach technologicznych masy, takich jak: przepuszczalność, plastyczność, płynność, zagęszczalność, osypliwość itd. [1–4].

Dodatki specjalne. Są nimi przede wszystkim pył węglowy, a następnie grafit, dekstryna, trociny, oleje. Dodatki mają na celu polepszenie niektórych właściwości masy lub też nadanie masie pewnych dodatkowych cech, których nie kształtują składniki główne (osnowa, glina i woda). Dotyczy to zmiany następujących właściwości masy: skłonności do powodowania powierzchniowych wad odlewów, plastyczności, osypliwości, wybijałości itd. Największą i najważniejszą grupę dodatków stanowią materiały zapobiegające przypalaniu się masy do powierzchni odlewów. Głównie są to materiały węglowe i węglopochodne (tab. 5.4).

Uogólniając, o jakości masy formierskiej należy powiedzieć, że właściwie zestawiona (zawierająca składniki właściwe i w odpowiedniej proporcji, tak by odpowiadała wymaganiom technologicznym dotyczącym danej produkcji odlewów) i przygotowana powinna zapewnić:

- wykonanie form i rdzeni przy małym nakładzie pracy;
- bezpieczne wypełnienie formy ciekłym metalem i otrzymanie odlewu wolnego od wad zewnętrznych i wewnętrznych;

- łatwe oczyszczenie odlewu z masy;
- operowanie nią bez szkody dla zdrowia pracowników i środowiska.

Zarówno dobór jakościowy, jak i ilościowy składników masy zależy przede wszystkim od [2]:

- rodzaju i gatunku stopu odlewniczego,
- masy, grubości i kształtu odlewu,
- wymaganej dokładności wymiarowej oraz gładkości powierzchni,
- metody wykonania formy czy rdzenia.

Masa syntetyczna dla odlewów żeliwnych składa się przede wszystkim z:

- piasku kwarcowego (70–90 części wagowych),
- bentonitu (6–9 części wagowych),
- wody (2,5–4 części wagowych),
- pyłu węglowego (2–8 części wagowych).

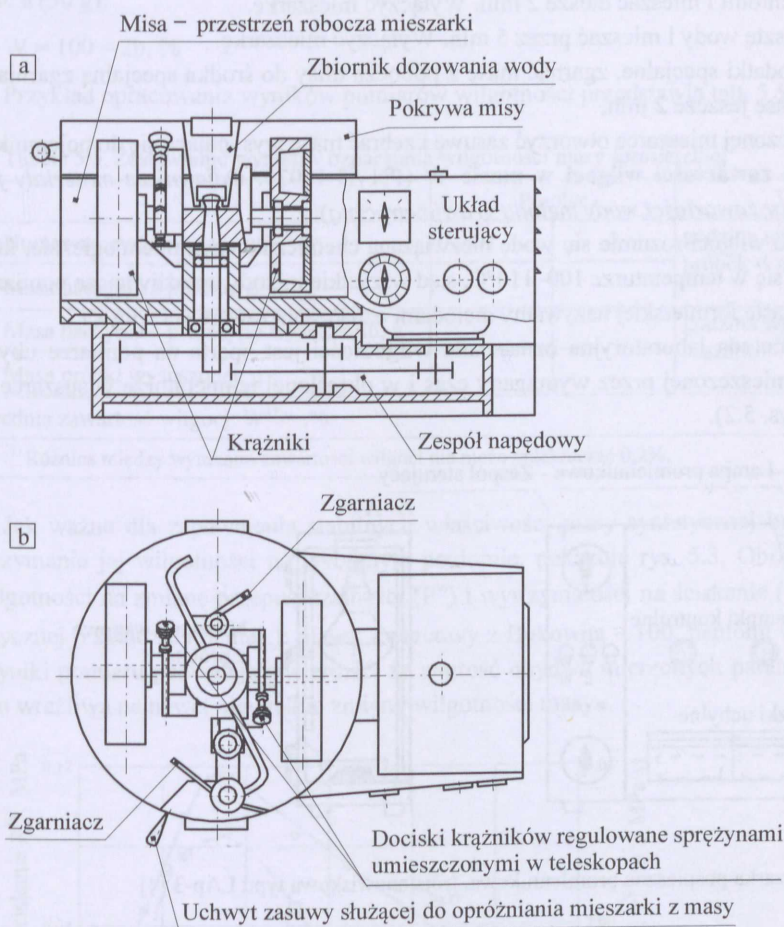
W warunkach przemysłowych stosuje się przeważnie masę odświeżaną, czyli masę używaną poddaną ponownej przeróbce z dodatkami (zwykle kilku procent) materiałów świeżych.

Masa formierska musi się wyróżniać zespołem cech charakteryzujących ją pod względem przydatności do wykonywania z niej formy odlewniczej. Ten zespół cech stanowią przede wszystkim właściwości technologiczne masy, które można ocenić za pomocą ponad 20 pomiarów różnych cech [1–4].

W praktyce przemysłowej, w przypadku masy syntetycznej bentonitowej, oznacza się zwykle następujące jej właściwości: wilgotność, przepuszczalność, wytrzymałość na ściskanie i osypliwość (ścieralność) oraz zagęszczalność.

Oznaczenia tych właściwości (poza wilgotnością) wykonuje się na wilgotnych znormalizowanych kształtkach. Zagęszczona masa formierska jest ośrodkiem porowatym mającym strukturę ziarnistą.

Sporządzanie masy. W warunkach laboratoryjnych do sporządzania masy są używane mierzarki krążnikowe (rys. 5.1) składające się z dwóch zespołów: napędowego z przekładnią i mieszającego.



Rys. 5.1. Mierzarka laboratoryjna krążnikowa typu LM [4]: a) przekrój poprzeczny; b) widok z góry po zdjęciu pokrywy misy

W skład zespołu mieszającego mierzarki wchodzi dwa krążniki oraz dwa zgarniacze, które mają za zadanie kierowanie mieszanej masy pod krążniki. Na głowicy mierzarki jest umieszczony zbiornik dozowania wody. W dnie mierzarki znajduje się zasuw służący do jej opróżniania z masy. Układ elektryczny umożliwia sterowanie ręczne, jak i za pomocą wyłącznika czasowego. Mierzarka powinna pracować wyłącznie przy zamkniętej pokrywie misy. Otwarcie pokrywy powoduje samoczynne wyłączenie mierzarki.

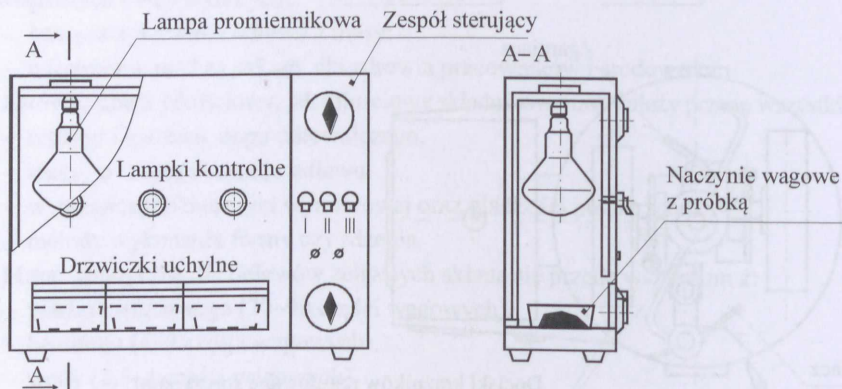
Mieszarki przystosowane są do sporządzania masy w porcjach od 2–6-kilogramowych. Sposób przygotowania masy jest następujący:

1. Do czystej mieszarki wsypać piasek (zgodnie z założonym składem i żadaną porcją masy) i mieszać przez 10–15 s w celu równomiernego jego rozprowadzenia w misie. Wyłączyć mieszarkę.
2. Dodać połowę założonej ilości wody i mieszać przez 1 min. Wyłączyć mieszarkę.
3. Dodać bentonit i mieszać dalsze 2 min. Wyłączyć mieszarkę.
4. Dodać resztę wody i mieszać przez 5 min. Wyłączyć mieszarkę.
5. Dodać dodatki specjalne, zgarnąć masę z pobocza misy do środka specjalną zgarniaczką i mieszać masę jeszcze 2 min.
6. Przy włączonej mieszarce otworzyć zasuwę i zebrać masę wysypującą się do pojemnika.

Oznaczanie zawartości wilgoci w masie W (PN-/H-11071. *Odlewnicze materiały formierskie. Pomiar zawartości wody metodą grawimetryczną*).

Przez pojęcie wilgoci rozumie się wodę niezwiązaną chemicznie czy mineralogicznie, która paruje i ulatnia się w temperaturze 100–110°C, stąd wszystkie metody umożliwiające pomiar jej zawartości w masie formierskiej nazywamy metodami oznaczania zawartości wilgoci.

Klasyczna metoda laboratoryjna oznaczania wilgotności jest oparta na pomiarze ubytku masy próbki umieszczonej przez wymagany czas i w określonej temperaturze w suszarce laboratoryjnej (rys. 5.2).



Rys. 5.2. Suszarka pospieszna promiennikowa, trójstanowiskowa typu LAp-3 [4]

Pomiar wilgotności masy sprowadza się do:

- odważenia w naczyniach wagowych wytarowanych wcześniej dwóch porcji masy formierskiej po 50 g z dokładnością do $\pm 0,01$ g;
- umieszczenia próbek w suszarce laboratoryjnej (rys. 5.2) w temperaturze 105–110°C na 1 h (przy dokładnym pomiarze) lub na 15 min (przy pospiesznej ocenie);
- schłodzenia próbek w eksykatorze do temperatury otoczenia;
- ponownego zważenia próbek z dokładnością do $\pm 0,01$ g i obliczenia zawartości wilgoci W (% mas.) wg wzoru:

$$W = (a - b)/a \cdot 100\% \quad (5.1)$$

gdzie:

a – masa badanego materiału przed suszeniem, g,

b – masa badanego materiału po suszeniu, g.

Wzór (5.1) można uprościć do następującej postaci ze względu na wcześniej ustaloną wartość a (50 g):

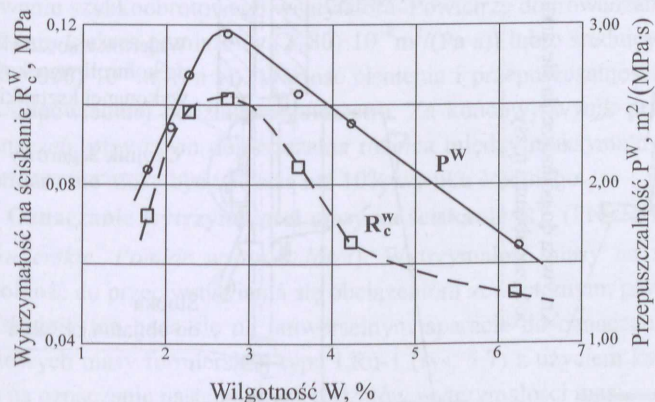
$$W = 100 - 2b, \% \quad (5.2)$$

Przykład opracowania wyników pomiarów wilgotności przedstawia tab. 5.5.

Tabela 5.5. Zestawienie wyników oznaczania wilgotności masy formierskiej

	Pomiar		Uwagi
1. Numer naczynia wagowego	1	2	godzina umieszczenia próbek w suszarce:
2. Masa naczynia z próbką, g			
3. Masa naczynia z próbką po wysuszeniu, g			godzina wyjęcia próbek z suszarki:
6. Masa próbki wysuszonej, g			
Średnia zawartość wilgoci: $W^{1)} = ,\%$			
¹⁾ Różnica między wynikami zawartości wilgoci nie może przekraczać 0,2%.			

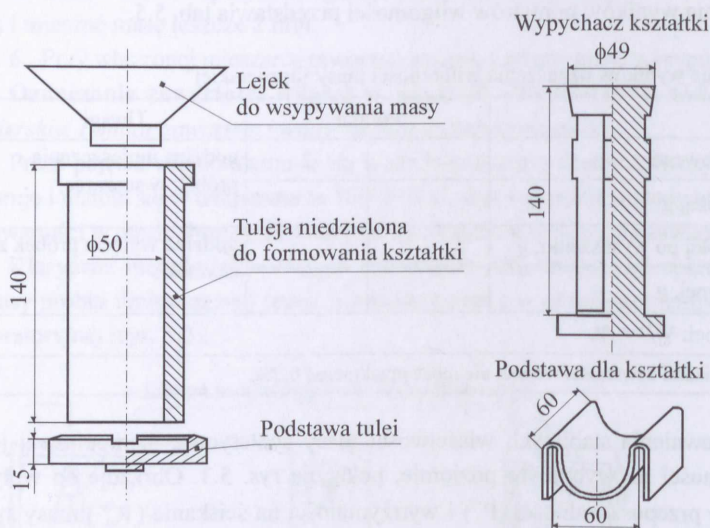
Jak ważne dla zapewnienia stabilnych właściwości masy syntetycznej bentonitowej jest utrzymanie jej wilgotności na wybranym poziomie, pokazuje rys. 5.3. Obrazuje on wpływ wilgotności na zmianę przepuszczalności (P^w) i wytrzymałości na ściskanie (R_c^w) masy syntetycznej o składzie (% mas.): piasek kwarcowy z Bukowna – 100, bentonit z Zębca – 8 [4]. Wyniki pomiaru pozwalają stwierdzić, że wartość obydwu mierzonych parametrów jest bardzo wrażliwa na nawet niewielkie zmiany wilgotności masy.



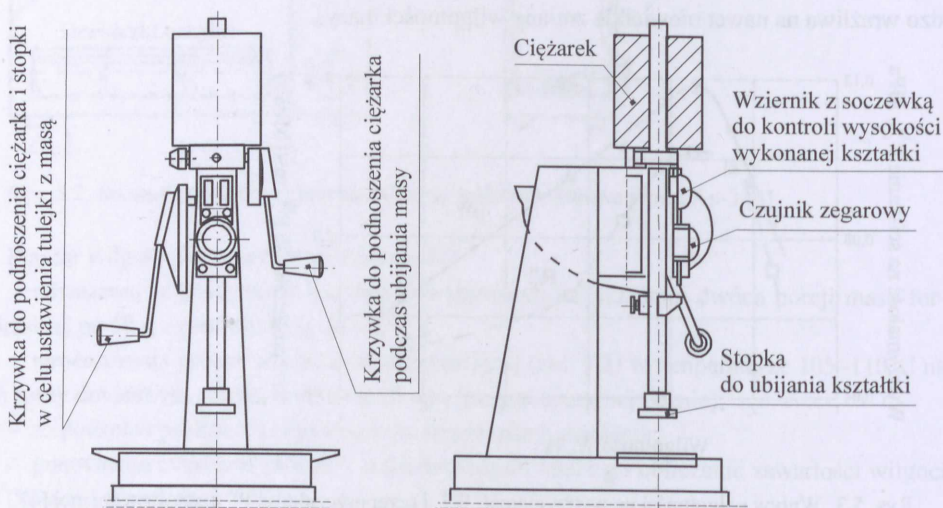
Rys. 5.3. Wpływ wilgotności na wytrzymałość R_c^w i przepuszczalność P^w masy syntetycznej [4]

Oznaczanie przepuszczalności P^w , wytrzymałości na ściskanie R_c^w oraz osypliwości S (ścieralności) masy. Oznaczanie wartości P^w , R_c^w oraz S w stanie wilgotnym i wysuszonym przeprowadza się na kształtkach walcowych o średnicy $50 \pm 0,8$ mm i wysokości $50 \pm 1,0$ mm.

Formowanie kształtek walcowych (PN-/H-11070. *Odlewnicze materiały formierskie. Wykonanie próbek do badań*) wykonuje się z użyciem oprzyrządowania przedstawionego na rys. 5.4. Formuje się je w tulei niedzielonej ustawionej na podstawie. Przez lejek wsypuje się odpowiednią porcję masy do tulei (masa materiału zużytego do wykonania kształtki wynosi ok. 160 g) i przenosi się tuleję z podstawką pod ubijak (rys. 5.5).



Rys. 5.4. Oprzyrządowanie do wykonywania kształtek walcowych [4]

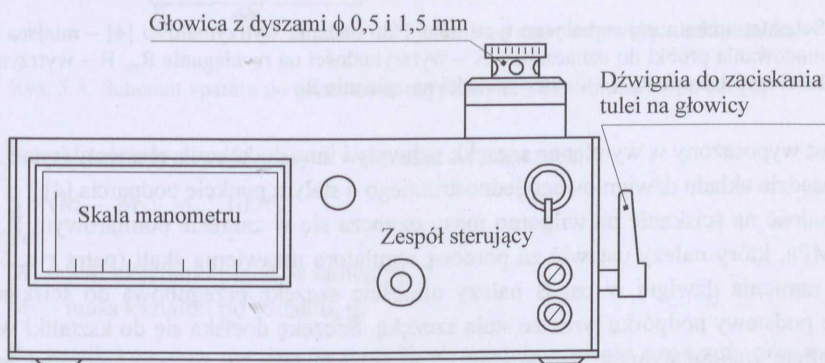


Rys. 5.5. Ubijak laboratoryjny typu LU [4]

Kształtkę po trzykrotnym uderzeniu ubijaka oraz sprawdzeniu jej wysokości na skali ubijaka wypycha się wypychaczem z tulei i układa na podstawie, jeżeli jest przeznaczona do pomiaru wytrzymałości masy. W przypadku pomiaru przepuszczalności masy kształtka pozostaje w tulei.

Oznaczanie przepuszczalności masy P^w (PN-/H-11072. *Odlewnicze materiały formierskie. Pomiar przepuszczalności*). Przepuszczalnością mas formierskich nazywa się zdolność do odprowadzania przez nie gazów powstałych podczas zalewania i po napełnieniu formy ciekłym metalem. Zasada pomiaru sprowadza się do sprężenia powietrza pod przygotowaną kształtką walcową do ciśnienia 980 Pa (100 mm słupa wody), a następnie wyznaczenia objętości powietrza, które przepływa przez jednostkę powierzchni kształtki w jednostce czasu.

Do pomiaru przepuszczalności stosuje się zwykle aparaty elektryczne (rys. 5.6).

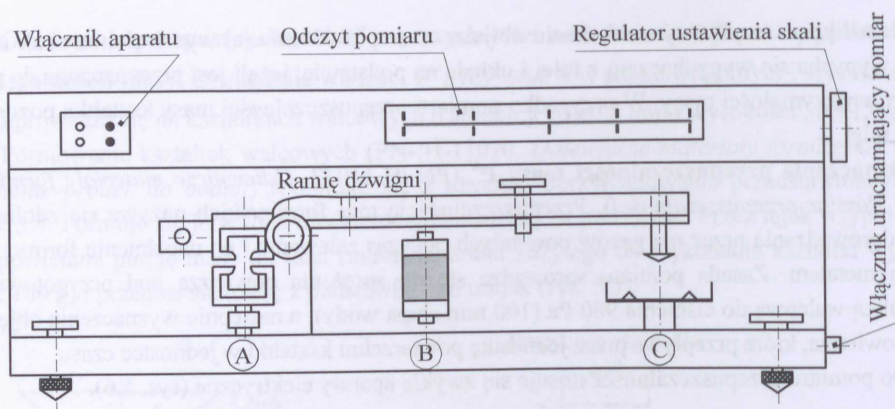


Rys. 5.6. Aparat elektryczny do oznaczania przepuszczalności typu LPiR1 [5]

Pomiar przepuszczalności masy ma następujący przebieg: Tuleję ze znajdującą się w niej próbką walcową zakłada się na głowicę aparatu i uszczelnia zaciskiem tak, aby powietrze przepływało tylko przez kształtkę. Żądane ciśnienie pod kształtką uzyskuje się dzięki zastosowaniu szybkoobrotowego wentylatora. Powietrze doprowadzane jest przez dyszę o średnicy 0,5 mm (zakres pomiarowy $(2-80) \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/(\text{Pa} \cdot \text{s})$) lub o średnicy 1,5 mm (zakres pomiarowy $(70-4000) \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/(\text{Pa} \cdot \text{s})$). Wartość ciśnienia i przepuszczalności odczytuje się bezpośrednio na odpowiedniej podziałce manometru. Za końcowy wynik przyjmuje się średnią z trzech oznaczeń, przy czym dopuszczalna różnica między maksymalnym i minimalnym wynikiem pomiaru nie może być większa niż 10% wyniku średniego.

Oznaczanie wytrzymałości masy na ściskanie R_c^w (PN-/H-11073. *Odlewnicze materiały formierskie. Pomiar wytrzymałości*). Wytrzymałość masy na ściskanie charakteryzuje jej zdolność do przeciwstawiania się obciążeniom zewnętrznym, głównie parciu ciekłego metalu. Wskaźnik ten bada się na uniwersalnym aparacie do oznaczania właściwości wytrzymałościowych masy formierskiej typu LRu-1 (rys. 5.7) z użyciem kształtek walcowych. Pozwala on na oznaczanie następujących rodzajów wytrzymałości mas:

- na rozciąganie R_m (pozycja A, rys. 5.7),
- na ściskanie R_c (pozycja B),
- na zginanie R_g (pozycja C, próbka w postaci belki o przekroju prostokątnym).



Rys. 5.7. Schemat aparatu uniwersalnego typu LRu-1 do badania wytrzymałości [4] – miejsca zamocowania próbki do oznaczania: A – wytrzymałości na rozciąganie R_m , B – wytrzymałości na ściskanie R_c , C – wytrzymałości na zginanie R_g

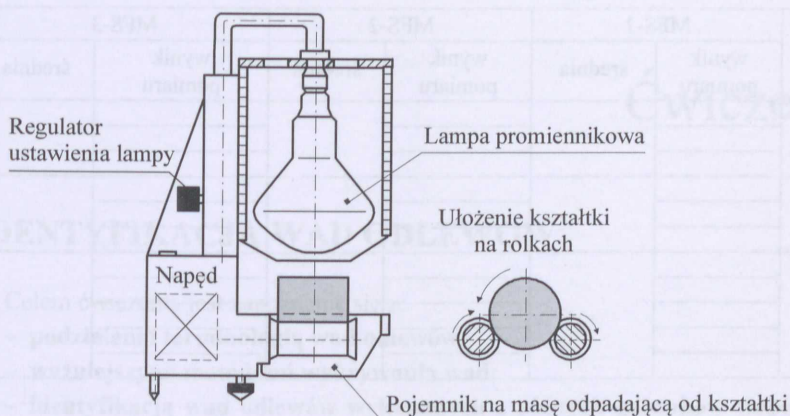
Aparat jest wyposażony w wymienne szczęki, uchwyty i inne dodatkowe elementy (rys. 5.7). Działa na zasadzie układu dźwigniowego jednostronnego o stałym punkcie podparcia [4].

Wytrzymałość na ściskanie na wilgotno masy oznacza się w zakresie pomiarowym R_{cIV} 0,00–0,22 MPa, który należy ustawić za pomocą regulatora ustawienia skali (patrz rys. 5.7). W otworze ramienia dźwigni w osi B należy umieścić szczękę przegubową do ściskania, a w otworze podstawy podpórkę wraz ze stałą szczęką. Szczękę dociska się do kształtki walcowej pokrętkiem znajdującym się na ramieniu. Następnie włącza się aparat i po zniszczeniu próbki odczytuje wynik pomiaru wprost z podziałki/skali R_{cIV} . Za końcowy wynik przyjmuje się średnią z trzech oznaczeń, przy czym dopuszczalna różnica między maksymalnym i minimalnym wynikiem pomiaru nie może być większa niż 10% wyniku średniego.

Oznaczanie osypliwości/ścieralności masy S. Ziarna masy znajdujące się na powierzchni wnęki formy lub rdzenia mają inne warunki niż ziarna wewnątrz masy. Te ostatnie otoczone są ze wszystkich stron przez ziarna sąsiednie, podczas gdy pierwsze są związane z masą tylko od wewnątrz. Dlatego też wytrzymałość zewnętrznej warstwy masy w porównaniu ze średnią wartością wytrzymałości danej masy jest zwykle niższa. Równocześnie warstwa ta jest najbardziej narażona na działanie różnego rodzaju czynników zewnętrznych, w tym strugi ciekłego metalu czy wstrząsów przy składaniu formy. Te i inne procesy powodują często spotykane wady powierzchniowe odlewów, takie jak zaproszenia czy zapiaszczenia [4].

Odporność powierzchniowej warstwy masy na działanie czynników dynamicznych określa się przez pomiar odporności na ścieranie (ścieralności), którą przyjmuje się za przybliżoną miarę osypliwości. Aparat służący ocenie tego parametru przedstawia rys. 5.8.

Przebieg pomiaru osypliwości/ścieralności jest następujący: Standardową kształtkę walcową waży się z dokładnością do 0,1 g i układa ostrożnie na rolkach, a następnie włącza lampę promiennikową i opuszcza ją za pomocą regulatora nad próbkę. Uruchamia napęd, który obraca rolkami. Podczas obracania się kształtki następuje nagrzewanie się jej powierzchni, odrywanie się ziarn masy z jej powierzchni i opadanie do pojemnika. Czas badania wynosi 5 min. Po badaniu waży się kształtkę ponownie z dokładnością do 0,1 g.



Rys. 5.8. Schemat aparatu do oznaczania osypliwości (ścieralności) typu LS [4]

Ścieralność/osypliwość masy S wyznacza się ze wzoru:

$$S = (M_1 - M_2) / M_1 \cdot 100\% \quad (5.3)$$

gdzie:

M_1 – masa kształtki przed badaniem, g,

M_2 – masa kształtki po badaniu, g.

Za wynik końcowy pomiaru przyjmuje się średnią z pięciu oznaczeń, przy czym dopuszczalna różnica między maksymalnym i minimalnym wynikiem pomiaru nie może być większa niż 10% wyniku średniego.

5.2. PRZEBIEG ĆWICZENIA

W trakcie ćwiczenia należy kolejno:

1. Zapoznać się z dostępną aparaturą do badania właściwości mas formierskich oraz zasadami jej obsługi:

- mieszarką laboratoryjną, suszarką LAp-3 i ubijakiem laboratoryjnym LU,
- aparatem do pomiaru przepuszczalności LPiR1,
- aparatem do badania wytrzymałości LRu-1 i osypliwości LS.

2. Przygotować do badań trzy masy (MFS-1, MFS-2, MFS-3) o składzie (% mas.): piasek kwarcowy drobny – 93%, bentonit – 7%, woda odpowiednio 2, 3,5 oraz 5% w stosunku do masy materiałów sypkich. Porcje masy po 4 kg każda sporządzić w krążnikowej mieszarce laboratoryjnej zgodnie z wcześniejszymi zaleceniami.

3. Oznaczyć następujące właściwości mas w stanie wilgotnym: wilgotność W , przepuszczalność P^w , wytrzymałość na ściskanie R_c^w i osypliwość S .

4. Stabelaryzować wyniki pomiarów wg tab. 5.5 i 5.6.

Tabela 5.6. Zestawienie wyników pomiaru właściwości technologicznych mas

Oznaczone właściwości	MFS-1		MFS-2		MFS-3	
	wynik pomiaru	średnia	wynik pomiaru	średnia	wynik pomiaru	średnia
P^w , ($m^2/Pa \cdot s$) $\cdot 10^{-8}$						
R_c^w , MPa						
S, %						

5.3. SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Cel i zakres ćwiczenia.
2. Zdanie relacji z przeprowadzonych badań właściwości mas formierskich, w tym:
 - krótki opis przeprowadzonych badań,
 - stabelaryzowane wyniki pomiarów,
 - graficzną postać otrzymanych wyników.
3. Wnioski.

LITERATURA

- [1] LEWANDOWSKI L.: *Masy na formy i rdzenie*. Warszawa, PWN, 1991.
- [2] LEWANDOWSKI L.: *Tworzywa na formy odlewnicze*. Kraków, Wydaw. AKAPIT, 1997.
- [3] *Materiały formierskie – laboratorium*. Skrypt nr 1500. Red. J.L. Lewandowski. Kraków, Wydaw. AGH, 1997.
- [4] *Poradnik inżyniera – odlewnictwo*. Warszawa, WNT, 1986.

Ćwiczenie 6

IDENTYFIKACJA WAD ODLEWÓW

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z:

- **podziałem i terminologią wad odlewów;**
- **ważniejszymi metodami wykrywania wad;**
- **identyfikacją wad odlewów wykonanych z różnych gatunków stopów, orientacyjnymi przyczynami ich powstawania oraz sposobami naprawy.**

6.1. WPROWADZENIE

Wada odlewu jest to zmiana kształtu, powierzchni, naruszenie ciągłości materiału oraz nieprawidłowość struktury wewnętrznej odlewu [1, 2].

Klasyfikując wady pod względem przydatności odlewów, w których występują, dzieli się je zwykle na [1–16]:

- dopuszczalne – wady, które pozostawia się w odlewie bez naprawy;
- usuwalne – wady, które eliminuje się przez dodatkowe, nieprzewidziane w technologii operacje wykończenia lub obróbki mechanicznej;
- powodujące zabrakowanie odlewu – wady, których naprawa nie jest możliwa, niedopuszczalna lub nieopłacalna.

Sposób oceny jakości odlewu, rodzaj dopuszczalnych i usuwalnych wad oraz możliwości i sposoby naprawy odlewu podano:

1. Na rysunku odlewu, który powinien zawierać obok wymiarów ich tolerancje i inne szczegółowe wymagania dotyczące jakości odlewu.

2. W warunkach technicznych odbioru odlewu, które powinny uwzględniać wymagania dodatkowe, nieuwjęte na rysunku odlewu, takie jak sprawdzanie powłok antykorozyjnych, naprawa wad.

3. W normach międzynarodowych czy krajowych określających rodzaj stosowanych badań technologicznych, mechanicznych czy badań składu chemicznego.

Badania końcowe odlewów składają się najczęściej ze sprawdzania ich masy, wymiarów, składu chemicznego, właściwości mechanicznych i badań nieniszczących. Kwalifikacja wad pod względem przydatności odlewu do eksploatacji powinna być ujęta w warunkach zamówienia po uzgodnieniu między dostawcą a odbiorcą, o ile nie jest podana w normach dotyczących poszczególnych odlewów.

Podział wad, ich terminologię, graficzne oznaczenia, orientacyjne przyczyny powstawania oraz przykładowy wygląd przedstawia norma PN-/H-83105 – *Odlewy. Podział i terminologia wad* (tab. 6.1–6.4). Zgodnie z nią wady odlewów dzielimy na cztery grupy:

- wady kształtu,
- wady powierzchni surowej,
- przerwy ciągłości,
- wady wewnętrzne.

Tabela 6.1. Wady kształtu

Nazwa	Oznaczenie
Uszkodzenie mechaniczne	W-101
Niedolew	W-102
Guz	W-103
Zalewka	W-104
Przestawienie	W-105
Wypchnięcie	W-106
Wypaczenie	W-107
Ogólna charakterystyka tej grupy wad oraz orientacyjne przyczyny ich powstawania: naruszenie lub niepełne odtworzenie kształtów odlewu na skutek uszkodzenia mechanicznego podczas wybijania odlewu z formy i transportu oraz wszystkie nieprawidłowości z zakresu budowy form i rdzeni, doboru materiałów formierskich, rozmieszczenia wlewów doprowadzających i obecności gazów w ciekłym metalu. Wady tej grupy są wykrywalne gołym bądź uzbrojonym okiem.	

Tabela 6.2. Wady powierzchni surowej

Nazwa	Oznaczenie	Nazwa	Oznaczenie
Chropowatość	W-201	Zanieczyszczenie	W-212
Pęcherz zew.	W-202	Spalenie	W-213
Kornik	W-203	Zatarcie	W-214
Ospowatość	W-204	Nadtopienie	W-215
Nakłucia	W-205	Skóra słonia	W-216
Obciągnięcie	W-206	Pocenie	W-217
Fałda	W-207	Nalot kwiecisty	W-218
Strup	W-208	Wżarcie	W-219
Blizna	W-209	Żyłki	W-220
Rakowatość	W-210	Przypalenie	W-221
Wgniecenie	W-211	Zaprószenie	W-222
Ogólna charakterystyka tej grupy wad oraz orientacyjne przyczyny ich powstawania: ogólnie wady tej grupy można nazwać „wadami formy”, ponieważ przyczyną ich wystąpienia są głównie błędy technologiczne wykonania formy i modelu; do przyczyn podstawowych zalicza się: uszkodzenie powierzchni formy, złe wykończenie lub uszkodzenie modelu, pęknięcia powierzchni wewnętrznej formy i erozja ścianek formy przez strumień przepływającego metalu. Wady tej grupy są wykrywalne gołym bądź uzbrojonym okiem, z wyjątkiem drobnych nakłuc i zaprószeń, do których wykrywania dobrze jest stosować metodę penetracyjną.			

Tabela 6.3. Wady ciągliwości

Nazwa	Oznaczenie
Pęknięcie na gorąco	W-301
Pęknięcie na zimno	W-302
Naderwanie	W-303
Pęknięcie żarzenia	W-304
Pęknięcie międzykrystaliczne	W-305

Ogólna charakterystyka tej grupy wad oraz orientacyjne przyczyny ich powstawania: przyczyną pęknięć zarówno na powierzchniach zewnętrznych, jak i wewnętrznych są głównie błędy popełnione podczas konstruowania odlewu – duża zawartość gazów w metalu. Wady tej grupy są wykrywalne gołym bądź uzbrojonym okiem, a do wykrywania mikropęknięć należy zastosować badania metodami: penetracyjną, magnetyczną lub ultradźwiękową.

Tabela 6.4. Wady wewnętrzne

Nazwa	Oznaczenie	Nazwa	Oznaczenie
Pęcherz	W-401	Segregacja	W-409
Porowatość	W-402	Gruboziarnistość	W-410
Jama skurczowa	W-403	Zabielenie	W-411
Rzadzizna	W-404	Zaszarzenie	W-412
Zażużlenie	W-405	Przełom biały	W-413
Zapiaszczenie	W-406	Przełom jasny	W-414
Zimne krople	W-407	Jasna obwódka	W-415
Obcy metal	W-408	Niejednorodność	W-416

Ogólna charakterystyka tej grupy wad oraz orientacyjne przyczyny ich powstawania: wady te są różnej natury; można wskazać na trzy główne przyczyny ich powstawania: zła jakość ciekłego metalu, niewłaściwe przygotowanie form oraz błędy w konstruowaniu odlewów. Wady tej grupy są wykrywalne metodami nieniszczącymi lub niszczącymi.

Przykłady opisu wybranych wad przedstawiono w tab. 6.5–6.8.

Produkcja odlewów bez pewnej liczby odlewów wadliwych nie jest praktycznie możliwa. Przyjmuje się, po wprowadzeniu danej technologii i stabilizacji produkcji, że dopuszczalna ilość odlewów wadliwych, z wadami ujawnionymi w odlewni na odlewach w stanie surowym, wynosi 2–4%. Procent ten może się zwiększyć po ujawnieniu wad podczas obróbki skrawaniem odlewów. W warunkach krajowych przyjmuje się, że dopuszczalna ilość wad nie przekracza 6% całkowitej produkcji, co wynika z analizy techniczno-ekonomicznej określonej serii odlewów, stopnia trudności ich wykonania oraz warunków, jakie się im stawia przy odbiorze. Dlatego przy niektórych odlewach ilość braków, którą uważa się za dopuszczalną, może wynosić nawet kilkanaście procent. Przekroczenie ustalonej ilości braków jest sygnałem zmieniających się warunków produkcyjnych i dlatego, dla ustalenia przyczyn obserwowanych zmian, potrzebna jest możliwie pełna dokumentacja wszystkich parametrów procesu [4].

Tabela 6.5. Opis wady – PRZESTAWIENIE

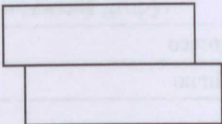
Grupa wad: 1 Nazwa grupy: Wady kształtu Symbol wady: W-105 Rodzaj wady: PRZESTAWIENIE	Oznaczenie graficzne wady 
Przykładowy wygląd wady  Odlewy z żeliwa   Odlew z mosiądzu Opis wady Wzajemne przesunięcie względem siebie poszczególnych części odlewu w powierzchniach odpowiadających podziałowi formy lub rdzenia. Przyczyny powstania wady: – nieodpowiednie wzajemne położenie części modelu lub rdzennicy lub przesunięcie części modelu na płycie; – obluzowanie elementów ustalających wzajemne położenie części modelu względem siebie lub względem płyty oraz obluzowanie elementów ustalających płyty; – nadmierne luzy na elementach ustalających skrzynek formierskich; – nieodpowiednie sworznie ustalające skrzynek formierskich; – niewłaściwe składanie formy i rdzeni; – ustawienie rdzenia w niewłaściwym miejscu; – niedokładne oczyszczenie rdzeni metalowych z resztek metalu; – nieodpowiednie zamocowanie lub nadmierne zużycie elementów ustalających form metalowych.	

Tabela 6.6. Opis wady – OBCIĄgniĘCIE

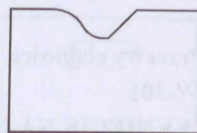
Grupa wad: 2

Nazwa grupy: **Wady powierzchni surowej**

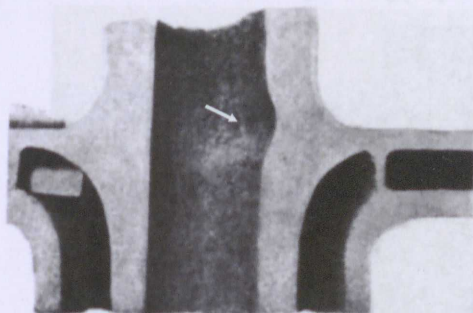
Symbol wady: **W-206**

Rodzaj wady: **OBCIĄgniĘCIE**

Oznaczenie graficzne wady



Przykładowy wygląd wady



Odlewy ze staliwa



Opis wady

Zazwyczaj płytkie, lecz dość duże wgłębienie o gładkiej powierzchni i zarysie owalnym lub wrzecionowatym. Na dnie obciągnięcia często występuje naderwanie.

Przyczyny powstania wady:

- ostre naroża lub występy rdzeni omywane dużą masą metalu;
- małe promienie wyokrągłeń lub brak wyokrągłeń;
- za wysoka wilgotność masy;
- nieodpowiednie rozmieszczenie wlewów doprowadzających;
- nieodpowiedni kształt, wielkość lub umiejscowienie nadlewów;
- za niska przepuszczalność masy wypełniającej;
- za wysoka temperatura zalewania form;
- nieodpowiednia konstrukcja odlewu;
- niedostateczne wysuszenie pokrycia naniesionego na kokilę;
- za wysoka temperatura formy metalowej;
- za gruba warstwa pokrycia ochronnego formy.

Tabela 6.7. Opis wady – PEKNIĘCIE NA GORĄCO

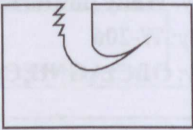
Grupa wad: 3 Nazwa grupy: Przerwy ciągłości Symbol wady: W-301 Rodzaj wady: PEKNIĘCIE NA GORĄCO	Oznaczenie graficzne 
Przykładowy wygląd wady  Odlew z siluminu  Odlew ze staliwa Opis wady Nieregularna, niekiedy rozgałęziona szczelina o ściankach pokrytych barwnym nalotem tlenków widoczna na powierzchni odlewu w postaci rysy zygzakowatej. Przyczyny powstania wady: – niewłaściwa konstrukcja odlewu; – niewłaściwe rozmieszczenie wlewów doprowadzających; – nieodpowiednie ukształtowanie lub rozmieszczenie nadlewów; – zastosowanie uzbrojenia formy lub rdzenia hamującego skurcz; – nieodpowiednie rozmieszczenie żeber wzmacniających odlew; – niewłaściwe lub zbyt późne wykonanie zabiegów zmierzających do zmniejszenia hamowania skurczu; – zbyt późne usunięcie odlewu z formy metalowej; – zużycie lub nieodpowiednie części kokili odtwarzające wnękę odlewu; – nieodpowiednie lub źle usytuowane wypychacze kokili.	

Tabela 6.8. Opis wady – JAMA SKURCZOWA

Grupa wad: 4 Nazwa grupy: Wady wewnętrzne Symbol wady: W-403 Rodzaj wady: JAMA SKURCZOWA	Oznaczenie graficzne wady 
--	--

Przykładowy wygląd wady



Odlewy ze staliwa



Opis wady

Pustka w miejscu metalu, mająca zazwyczaj kształt stożkowaty lub wrzecionowaty i szorstką, grubokrystaliczną powierzchnię; występuje najczęściej w większych skupieniach metalu lub w przejściu od grubszej do cieńszej ścianki.

Przyczyny powstania wady:

- występowanie węzłów cieplnych lub niekorzystne ukształtowanie połączeń ścianek;
- konstrukcja odlewu utrudniająca krzepnięcie kierunkowe;
- konstrukcja modelu uniemożliwiająca właściwe położenie formy w czasie zalewania;
- nieodpowiednie rozmieszczenie i przekroje wlewów doprowadzających;
- nieodpowiedni kształt, wielkość i usytuowanie nadlewu;
- zbyt silne podgrzanie formy metalowej;
- za wysoka temperatura ciekłego metalu podczas zalewania;
- zbyt późne lub niedostateczne zabezpieczenie powierzchni nadlewów materiałem egzotermicznym;
- za późne dolanie metalu do górnego nadlewu lub niewykonanie tego zabiegu.

Przykładowy wygląd wad odlewu przedstawiono również na rys. 6.1–6.4.



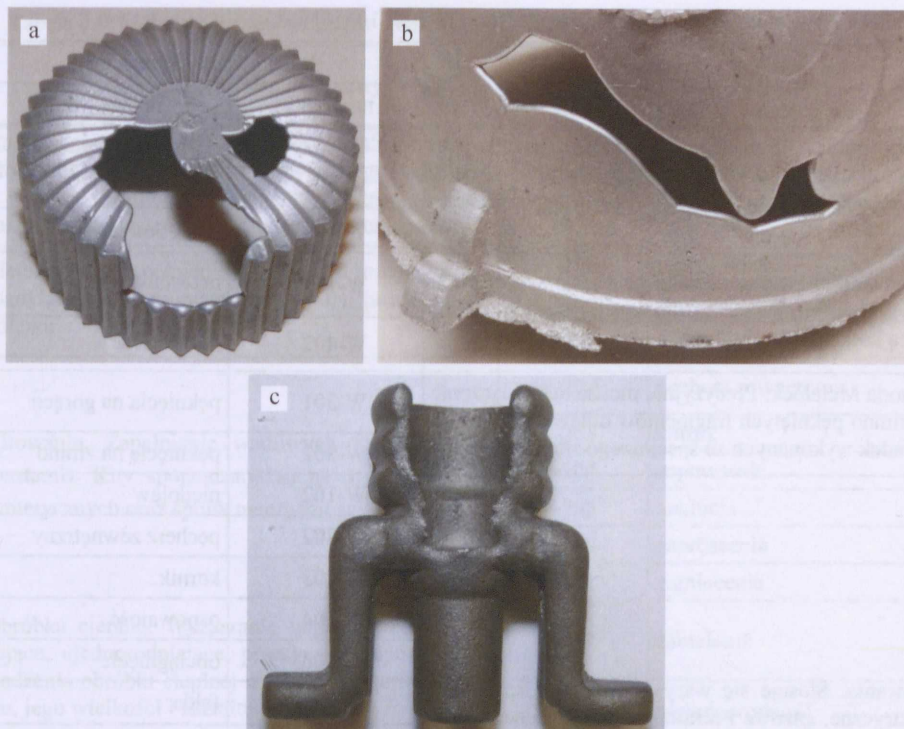
Rys. 6.1. Pęcherz/pęcherze (W-401) w odlewie z brązu



Rys. 6.2. Zimne krople (W-407) wewnątrz pęcherza zewnętrznego (W-202) w odlewie ze staliwa



Rys. 6.3. Zapiaszczenie (W-406) w odlewach z żeliwa



Rys. 6.4. Niedolew (W-102): a, b) w odlwach z siluminu; c) w odlwie z żeliwa

Najczęściej stosowane metody naprawy wad odlawów przedstawia tab. 6.9.

Tabela 6.9. Metody naprawy odlawów wadliwych [1–4, 10–16]

Nazwa metody i opis naprawy	Rodzaj wady naprawianej	
	nr wady	nazwa wady
Prostowanie. Odbywa się zwykle na ręcznych prasach śrubowych lub na prasach hydraulicznych przy obciążeniach statycznych. W zależności od materiału i kształtu odlawu prostowanie prowadzi się na zimno/gorąco	W-107	wypaczenie
	W-201	chropowatość
	W-106	wypchnięcie
	W-104	zalewka
	W-103	guz
	W-208	strup
	W-214	zatarcie
	W-221	przypalenie
Oczyszczanie. Odbywa się zwykle przez szlifowanie, ścinanie, frezowanie lub struganie		

Tabela 6.9. Metody naprawy odlewów wadliwych [1–4, 10–16] (cd.)

Nazwa metody i opis naprawy	Rodzaj wady naprawianej	
	nr wady	nazwa wady
Czopowanie. Przewiercanie miejsc wadliwych, gwintowanie i wstawianie czopów o właściwościach i składzie chemicznym zbliżonym do naprawianego odlewu	W-202	pęcherz zewnętrzny
	W-401	pęcherz
	W-403	jama skurczowa
Tulejowanie. Pasowanie tulei na wcisk w uprzednio przygotowane miejsce i ustalenie jej pozycji za pomocą kołków lub wkrętów	W-105	przestawienie
	W-402	porowatość
Metoda Metalock. Precyzyjne, mechaniczne łączenie na zimno pękniętych fragmentów odlewu za pomocą wkładek wykonanych ze specjalnego stopu	W-301	pęknięcia na gorąco
	W-302	pęknięcie na zimno
Spawanie. Stosuje się wszystkie metody spawania: elektryczne, gazowe i termitowe zarówno na zimno, jak i na gorąco. Wybór metody spawania zależy od materiału odlewu, jego wielkości i kształtu	W-102	niedolew
	W-202	pęcherz zewnętrzny
	W-203	kornik
	W-204	ospowatość
	W-206	obciążnięcie
	W-207	fałda
	W-209	blizna
	W-211	wgniecenie
	W-222	zaprószenie
	W-301	pęknięcia na gorąco
	W-302	pęknięcie na zimno
	W-403	jama skurczowa
Uszczelnianie (impregnacja). Nasycanie odlewów emulsją szczeliwa zwykle pod podwyższonym ciśnieniem. Szczeliwem najczęściej są różnego rodzaju żywice syntetyczne oraz emulsja na osnowie tlenku żelaza czy krzemianu etylu	W-402	porowatość
	W-404	rzadzizna
	W-202	pęcherz zewnętrzny
	W-203	kornik
	W-204	ospowatość
	W-205	nakłucia
	W-222	zaprószenie
	W-211	wgniecenie

Tabela 6.9. Metody naprawy odlewów wadliwych [1–4, 10–16] (cd.)

Nazwa metody i opis naprawy	Rodzaj wady naprawianej	
	nr wady	nazwa wady
Nadlewanie. Przelewanie ciekłego metalu przez wadliwe miejsce w celu jego odpowiedniego nagrzania, a następnie zatrzymanie przepływu strugi, tak by zakrzepła, odtwarzając brakujący fragment odlewu	W-102	niedolew
	W-101	uszkodzenie mechaniczne
Metalizacja. Zapelnianie wadliwych miejsc przez rozpylanie roztopionego metalu na powierzchnię odlewu	W-222	zaprószenie
	W-204	ospowatość
	W-210	rakowatość
Kitowanie. Zapelnianie wadliwych miejsc kitami (pastami). Kity sporządzane są na osnowie żywicy syntetycznych oraz spoiw nieorganicznych	W-202	pęcherz zewnętrzny
	W-203	kornik
	W-204	ospowatość
	W-205	nakłucia
	W-222	zaprószenia
	W-211	wgniecenia
Obróbka cieplna. Wyżarzanie odprężające, grafityzujące, ujednorodniające, przesycanie. Sposób prowadzenia obróbki cieplnej zależy od materiału odlewu, jego wielkości i kształtu	W-411	zabielenie
	W-416	niejednorodność
Lutowanie. Zapelnianie wadliwych miejsc za pomocą roztopionego metalu zwanego lutem	W-206	obciążenie
	W-402	porowatość

6.2. PRZEBIEG ĆWICZENIA

W trakcie ćwiczenia należy kolejno:

1. Zidentyfikować wady we wskazanych odlewach, posługując się atlasem wad odlewniczych.
2. Naszkicować odlewy z zaznaczeniem kształtu oraz miejsca występowania danej wady.
3. Sporządzić opis zidentyfikowanych wad.

6.3. SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Cel i zakres ćwiczenia.
2. Szkice odlewów z opisem stopu, z którego zostały wykonane, warunków ich eksploatacji oraz występowania i kształtu wad.
3. Opis wad wraz z podaniem symbolu graficznego.
4. Ustalenie prawdopodobnych przyczyn (przyczyny) powstania wad.

5. Analizę możliwości, potrzeby i opłacalności naprawy odlewu.

6. Wnioski.

LITERATURA

- [1] *Poradnik inżyniera. Odlewnictwo*. Warszawa, WNT, 1986.
- [2] ZYCH J.: *Analiza wad odlewów; wybrane zagadnienia – laboratorium*. Skrypt nr 1623. Kraków, Wydaw. AGH, 2001.
- [3] KOZAKOWSKI S.: *Badanie odlewów*. Warszawa, Wydaw. Biuro Gamma, 2001.
- [4] FAŁECKI Z.: *Analiza wad odlewów*. Kraków, Wydaw. AGH, 1997.
- [5] JANUSZEWICZ P., KALATA C., KOBYLIŃSKI S.: *Systematyka wad odlewów żeliwnych*. Warszawa, PWT, 1956.
- [6] JANICKI E., KALATA C., KOBYLIŃSKI S.: *Systematyka wad odlewów staliwnych*. Warszawa, PWT, 1954.
- [7] ADAMSKI C., GÓRSKI A., KOBYLIŃSKI S.: *Systematyka wad odlewów metali nieżelaznych*. Warszawa, PWT, 1956.
- [8] BALER J., KÖPPEN M.: *Podręcznik wad odlewniczych*. Maral, Wydaw. IKO-Erbslöh, 1994.
- [9] *Atlas wad odlewów*. Kraków, Wydaw. Instytutu Odlewnictwa, 2004.
- [10] CHUDZIKIEWICZ R., BRIKS W.: *Podstawy metalurgii i odlewnictwo*. Warszawa, PWN, 1977.
- [11] PERZYK M., WASZKIEWICZ S., KACZOROWSKI M., JOPKIEWICZ A.: *Odlewnictwo*. Warszawa, WNT, 2000.
- [12] BARANOWSKA J., GARBIĄK M.: *Badania ultradźwiękowe*. Szczecin, Wydaw. Politechniki Szczecińskiej, 1999.
- [13] PIEKARSKI B.: *Ćwiczenia laboratoryjne z odlewnictwa*. Szczecin, Wydaw. Politechniki Szczecińskiej, 2006.
- [14] *Wybrane procesy odlewnicze – laboratorium*. Red. M. Cholewa. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej, 2008.
- [15] ŁEMPICKI J., PARADYSZ J.: *Oczyszczanie i wykańczanie odlewów żeliwnych i staliwnych*. Warszawa, WNT, 1979.
- [16] CISZEWSKI G.: *Podstawy teoretyczno-eksperymentalne naprawy wad w odlewach żeliwnych i ich łączenie konstrukcyjne z zastosowaniem spawania łukowego*. Kraków, Wydaw. Instytutu Odlewnictwa, 1997.

Ćwiczenie 7

TECHNIKA KOMPUTEROWA W URUCHAMIANIU PRODUKCJI ODLEWÓW

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z:

- numerycznymi programami symulacyjnymi wspomagającymi opracowanie technologii wykonania odlewu;
- wykorzystaniem metod szybkiego prototypowania w odlewnictwie.

7.1. WPROWADZENIE

Technika komputerowa, rozwijająca się bardzo dynamicznie, wprowadziła również do odlewnictwa nowe narzędzia usprawniające przebieg produkcji. Szczególnie duży postęp obserwuje się w zakresie wspomagania komputerowego procesów:

- opracowywania konstrukcji odlewów i koncepcji technologicznych ich wykonywania,
- wykonywania prototypowych zespołów modelowych, formy i odlewów oraz oceny ich jakości.

W pierwszym przypadku dotyczy to głównie symulacji procesów odlewania za pomocą numerycznych programów, takich jak: MAGMASoft i ProCAST (krzepnięcie i stygnięcie odlewów wykonywanych różnymi metodami) oraz CALCOsoft (odlewanie ciągłe), w celu sprawdzenia poprawności opracowanej technologii wykonania odlewu, a w drugim przypadku – zastosowania metod i technik *Rapid Prototyping*, *Rapid Tooling* oraz *Rapid Manufacturing* do szybkiego wytwarzania modeli, form i krótkich serii odlewów.

Numeryczne programy symulacyjne. Cyfrowy zapis kształtu odlewu jest wstępnym warunkiem przeprowadzenia modelowania komputerowego jakiegokolwiek procesu. Do tego celu wykorzystuje się powszechnie znane oprogramowania typu CAD (np. AutoCAD, ProENGINEER, Solid Works, Solid Edge, STL), które przygotowują zapis w odpowiednim formacie czytany przez kompilator programu symulacyjnego.

W procesie projektowania odlewu jest szczególnie ważne, by dostosować jego konstrukcję do warunków eksploatacji. Ocenę jej poprawności (zachowania się odlewu w symulowanych warunkach pracy) umożliwia m.in. program ABAQUS [1] wykorzystujący metodę elementów skończonych. Z jego pomocą można wykonać szereg analiz numerycznych, takich jak:

- statyczna i dynamiczna analiza przemieszczeń i naprężeń,
- analiza naprężeń cieplnych i pęcznienia,
- analiza sprężonego pola termiczno-odkształceniowego,

- obliczenia z zakresu mechaniki pękania (całka J, propagacja pęknięć).

Uruchomienie produkcji odlewu rozpoczyna się od opracowania koncepcji technologicznej jego wykonania (ćwiczenie 4). Programy symulacyjne pełnią bardzo istotną funkcję w jej opracowywaniu, ponieważ ułatwiają przewidywanie [2]:

- jakości odlewu w różnych wariantach danej technologii, w tym obrazują występowanie i rozmieszczenie wad odlewniczych (jam usadowych, porowatości, niedolewów, deformacji);
- struktury i właściwości odlewu itd.;
- kinetyki przemian fazowych w stanie stałym w okresie stygnięcia odlewu, a także podczas zabiegów obróbki cieplnej;
- kinetyki krystalizacji i czasu osiągnięcia odpowiedniej temperatury wybicia odlewu z formy;
- pola naprężeń tworzącego się w odlewie w okresie stygnięcia oraz obszarów narażonych na deformację i dekohezję.

Umożliwiają również sprawdzenie poprawności doboru układu wlewowego, w tym weryfikację liczby, kształtu i rozmieszczenia poszczególnych jego elementów.

Jak pomocne jest zastosowanie profesjonalnego oprogramowania podczas opracowywania technologii wykonywania odlewów, ilustrują przykłady wykorzystania w tym celu programów MAGMASoft (rys. 7.1–7.8), CALCOsoft (rys. 7.9) i ProCAST (rys. 7.10).

Prezentowane fragmenty wyników symulacji procesów i zjawisk zapełniania wnęki formy, krzepnięcia i stygnięcia odlewu oraz formowania się jego mikrostruktury wykonano w firmie KOM-ODLEW [3, 4], Instytucie Odlewnictwa [5] oraz w Katedrze Odlewnictwa Żeliwa Wydziału Odlewnictwa AGH [6].

Program MAGMASoft jest stosowany w większości europejskich ośrodków badawczych pracujących na rzecz odlewnictwa oraz w dużych odlewniach. Zdaniem jego twórców, pozwala on na bezpośrednie i niezawodne opracowanie technologii wykonania dowolnego odlewu, ponieważ poszczególne moduły i opcje programu uwzględniają specyfikę danego stopu odlewniczego i metody odlewania.

Do najczęściej stosowanych modułów programu MAGMASoft należą [2]:

- MAGMASoft – podstawowa konfiguracja oprogramowania umożliwiająca symulację odlewania i krzepnięcia oraz prognozę położenia wad;
- MAGMAiron – analiza krzepnięcia żeliwa szarego i sferoidalnego;
- MAGMAsteel – analiza krzepnięcia odlewów staliwnych;
- MAGMAstress – analiza naprężeń cieplnych w odlewach i formach metalowych;
- MAGMhpc – symulacja odlewania pod wysokim ciśnieniem;
- MAGMAlpc – symulacja odlewania pod niskim ciśnieniem;
- MAGMAdisa – symulacja odlewania na liniach automatycznych Disamatic;
- MAGMAthixco – symulacja odlewania w stanie półciekłym.

Trójnik o masie 0,83 kg, z żeliwa ciągliwego białego gatunku GJMW 400-5, wykonywano na linii formierskiej DISAMATIC z pionową płaszczyzną podziału (rys. 7.1a). Otrzymywane odlewy charakteryzowały się przede wszystkim nieszczelnością spowodowaną porowatością. Pierwszym krokiem w modyfikacji technologii była korekta zasilania odlewu (rys. 7.1b) –

nadlewy kryte przesunięto wyżej oraz zaprojektowano dodatkowe, zasilające dolne żebro odlewu. Doprowadzenie ciekłego metalu do wnętrza formy przez nadlew zakryty zaprojektowany dodatkowo umożliwiło zmianę sposobu zalewania na syfonowy. Ta zmiana zapewniła spokojniejsze zapełnienie wnętrza formy (rys. 7.1c) i lepsze wyprowadzenie z niej powietrza, co z kolei pozwoliło na rezygnację z kanałów odpowietrzających (rys. 7.1b). Węzły cieplne zostały właściwie zasilone, wskutek czego otrzymywane odlewy powinny być wolne od wad skurczowych (porowatości) – rys. 7.1d. Podobną ocenę jakości technologii pod kątem tworzenia się porowatości w odlewach, tym razem dotyczącą wielkogabarytowej podstawy z żeliwa o masie 10 Mg, przedstawia rys. 7.2.

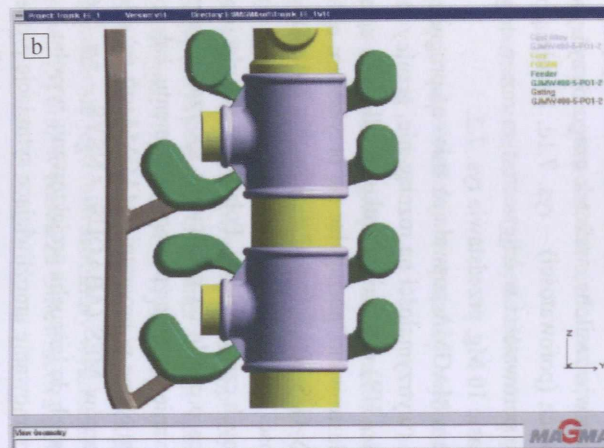
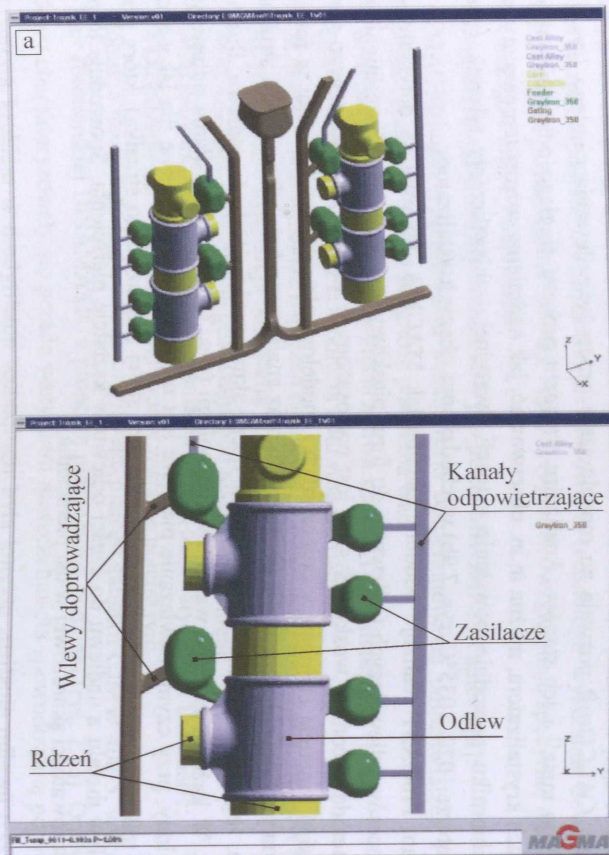
Program MAGMA pozwala również na prognozowanie minimalnych właściwości mechanicznych (wytrzymałości na rozciąganie, granicy plastyczności, wydłużenia, modułu Younga i twardości HB) oraz mikrostruktury odlewów z żeliwa sferoidalnego. Takie jego wykorzystanie zilustrowano, posługując się przykładem odlewu piasty o masie 1,75 kg, z żeliwa gatunku EN-GJS-500-7 (rys. 7.3–7.5a, b). Zróżnicowanie mikrostruktury, a w konsekwencji właściwości mechanicznych wynika z odmiennych warunków krzepnięcia i stygnięcia poszczególnych części odlewu. Połączenie symulacji odlewania z symulacjami obciążeń eksploatacyjnych pozwala na całościowe spojrzenie na proces konstruowania części i efektywne projektowanie współbieżne danego elementu, całego zespołu elementów czy urządzenia [4].

Otrzymywane w programie MAGMASoft dowolne wyniki symulacji można przekazywać do programów MES (ABAQUS, ANSYS – rys. 7.6, IDEAS, PATRAN i PERMAS) w celu włączania ich do łańcucha projektowania wyrobu.

Oprogramowanie umożliwiające symulację procesu wypełniania wnętrza formy oraz rozkładu temperatury w krzepnącym i stygnącym odlewie (rys. 7.3, 7.7 i 7.8) jest najpowszechniej wykorzystywane w odlewniach.

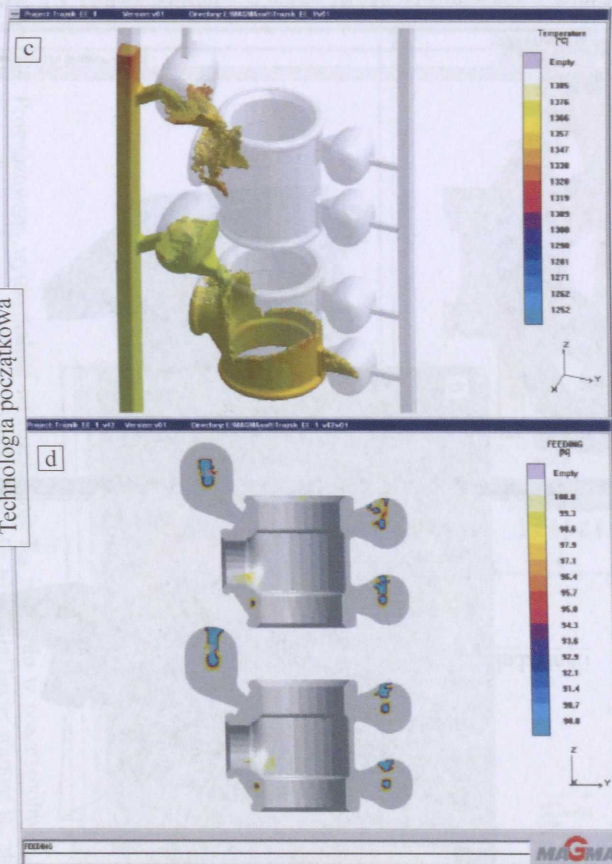
Program CALCOsoft pozwala na modelowanie procesów odlewania ciągłego (rys. 7.9) i półciągłego metali i ich stopów. Analizując fragment procesu ciągłego odlewania miedzi w okolicach krystalizatora, można m.in. obserwować, jak nadmierny wzrost temperatury metalu w zbiorniku powoduje powstanie sytuacji awaryjnej – niezakrzepły wlew (strefa o temperaturze 1022–1035°C, rys. 7.9b) wychodzi poza obszar krystalizatora.

Program ProCAST realizuje podobne zadania jak MAGMA. Pozwala na optymalizację wielu procesów odlewniczych (odlewania do form piaskowych, nisko- i wysokociśnieniowego czy metodą traconego wosku). System jest wyposażony w funkcję automatycznego generowania siatki metodą elementów skończonych i modelowania przepływu metalu w formie. Umożliwia przeprowadzanie analiz termicznych oraz analiz naprężeń, odkształceń i struktury materiału. Jego zastosowanie, na przykładzie oceny skuteczności działania nadlewu, ilustruje rys. 7.10. W każdym z trzech wariantów technologii (rys. 7.10) obraz zasilania odlewu jest zupełnie inny, przy czym rozwiązanie pierwsze jest najbardziej niekorzystne dla jakości odlewu. W trakcie krzepnięcia powstaje mostek fazy stałej (wskazuje go strzałka), który przewodzi dopływ metalu z nadlewu do części odlewu w kształcie pierścienia. Spowoduje to powstanie porowatości skurczowej w osi pierścienia.

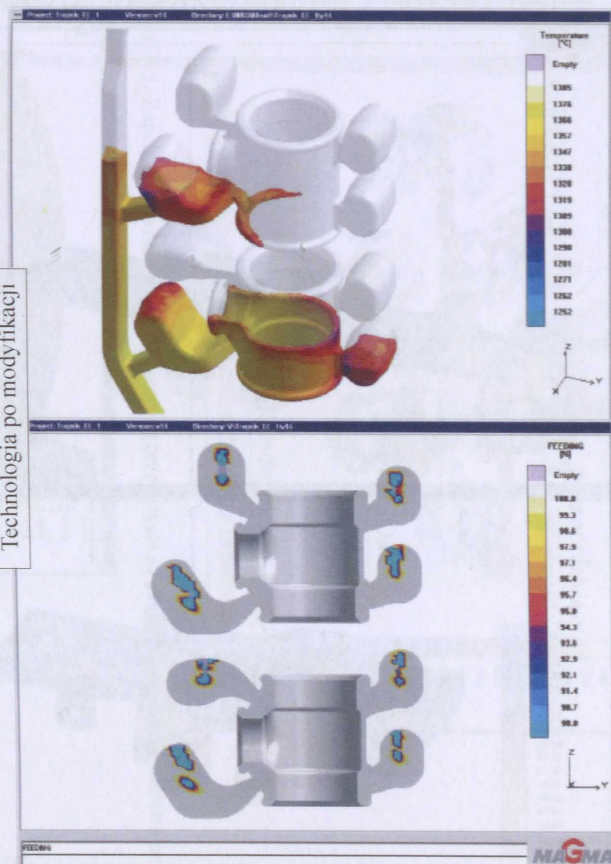


Rys. 7.1. Odlewanie czterech sztuk trójnika z żeliwa sferoidalnego w formie z pionową płaszczyzną podziału [3]: a) technologia początkowa; b) technologia po modyfikacji – zwiększono liczbę zasilaczy i zmieniono ich ustawienie oraz wyeliminowano kanały odpowietrzające

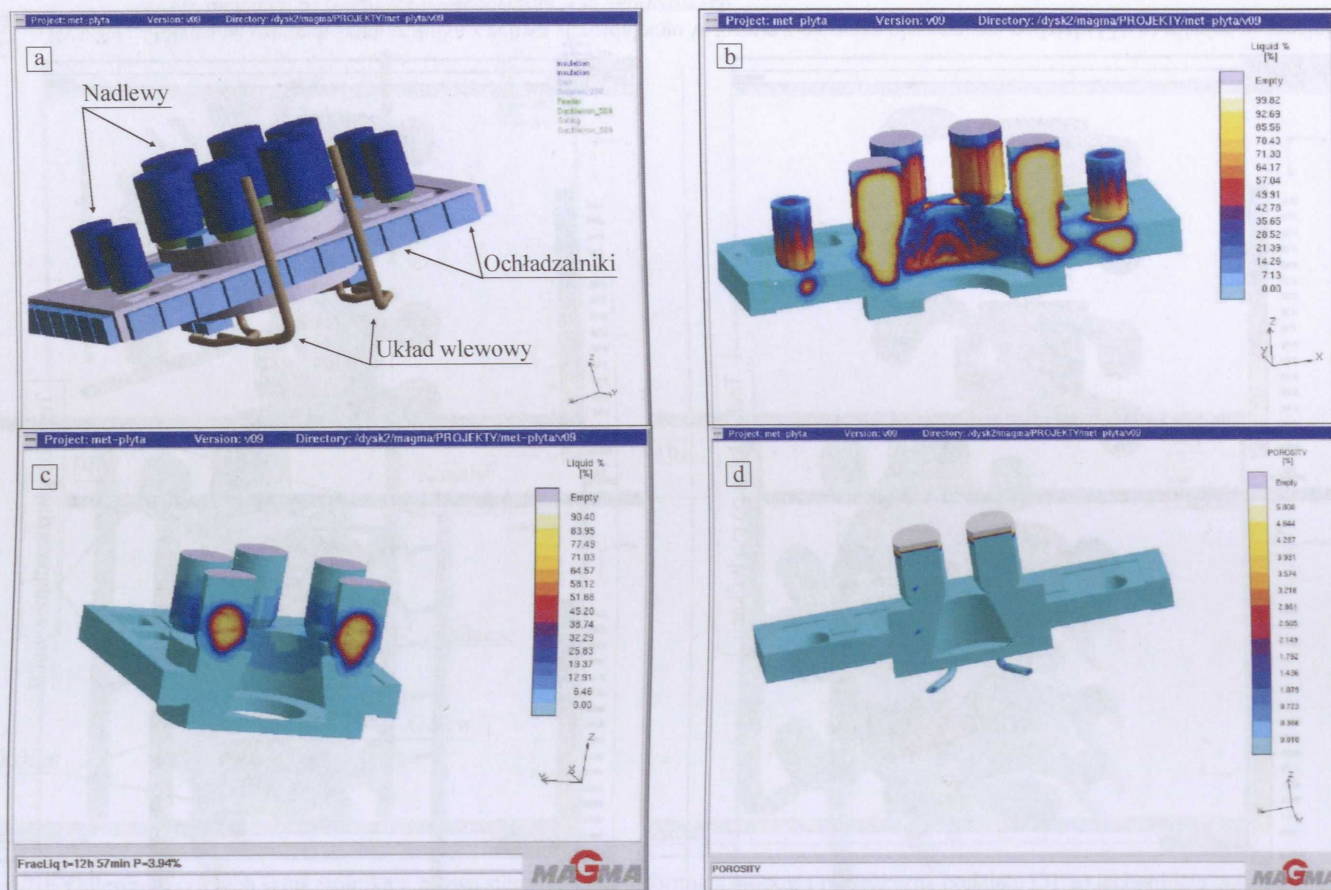
Technologia początkowa



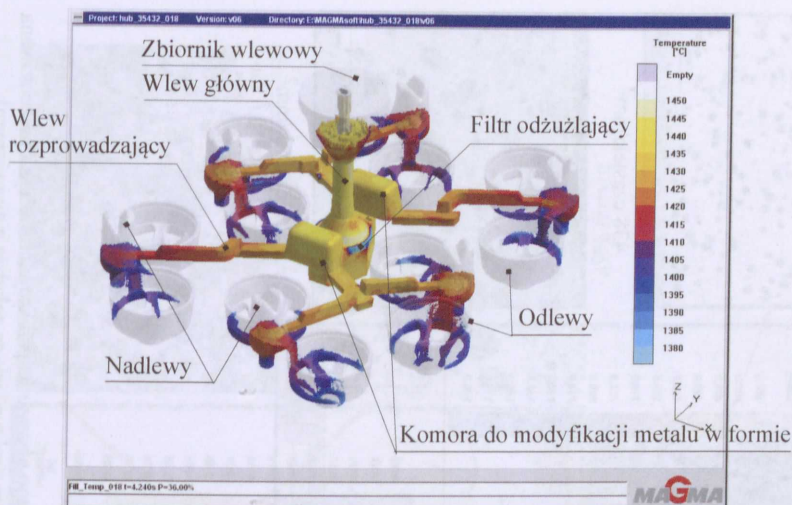
Technologia po modyfikacji



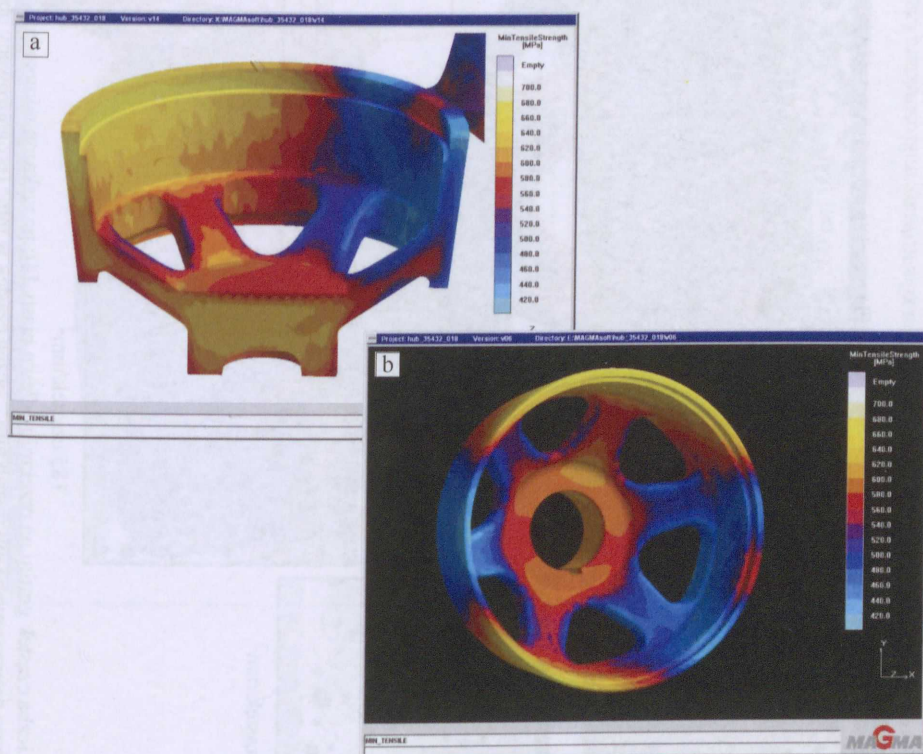
Rys. 7.1. Odlewanie czterech sztuk trójkąta z żeliwa sferoidalnego w formie z pionową płaszczyzną podziału [3]: c) różnica w wypełnianiu formy metalem; d) prognoza występowania wad skurczowych



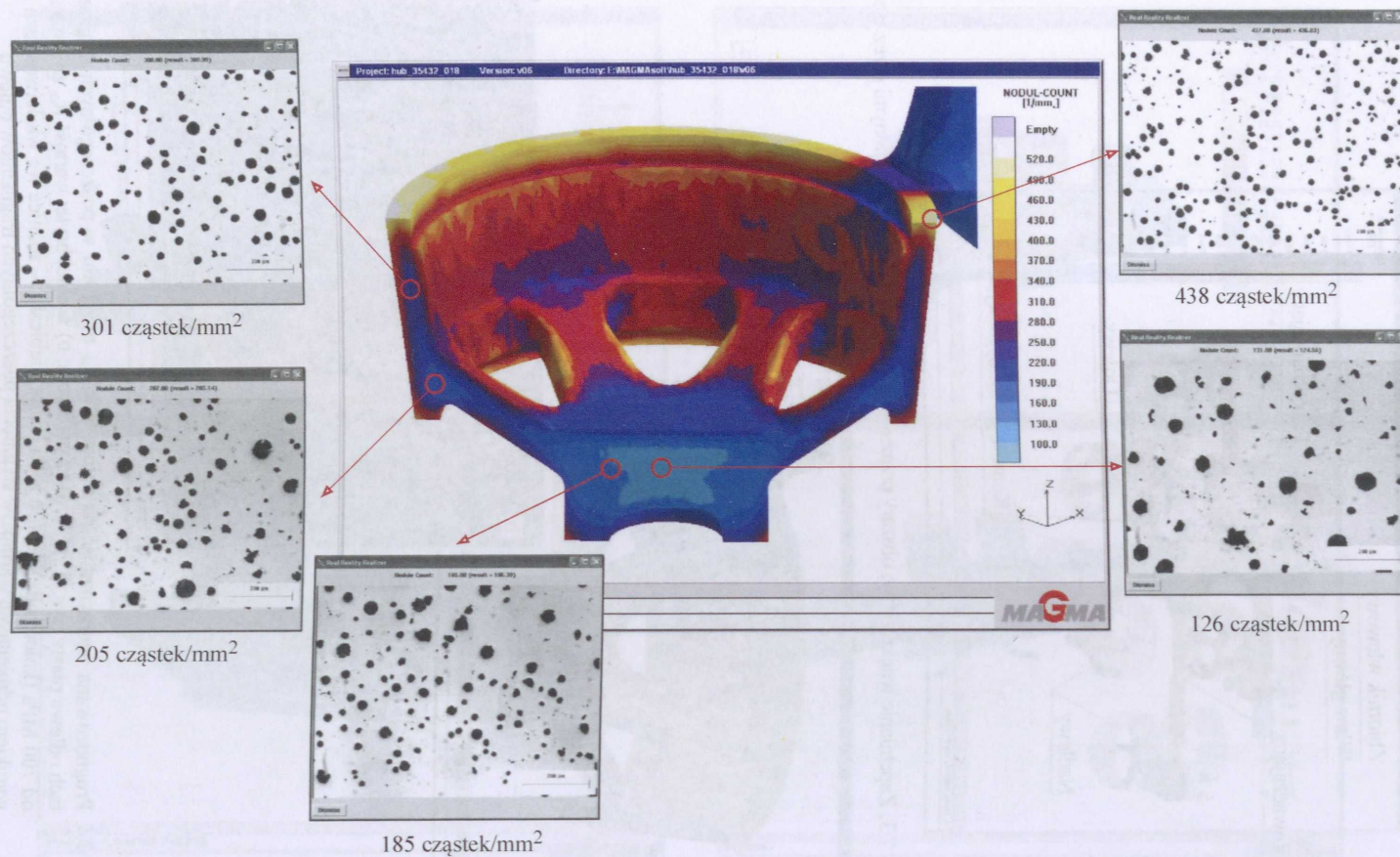
Rys. 7.2. Odlew podstawy o masie 10 Mg wykonywany z żeliwa sferoidalnego [5]: a) technologia wykonania; b– c) proces krzepnięcia, nadlewy krzepną dłużej niż zasilany odlew; d) prognoza występowania porowatości w odlewie



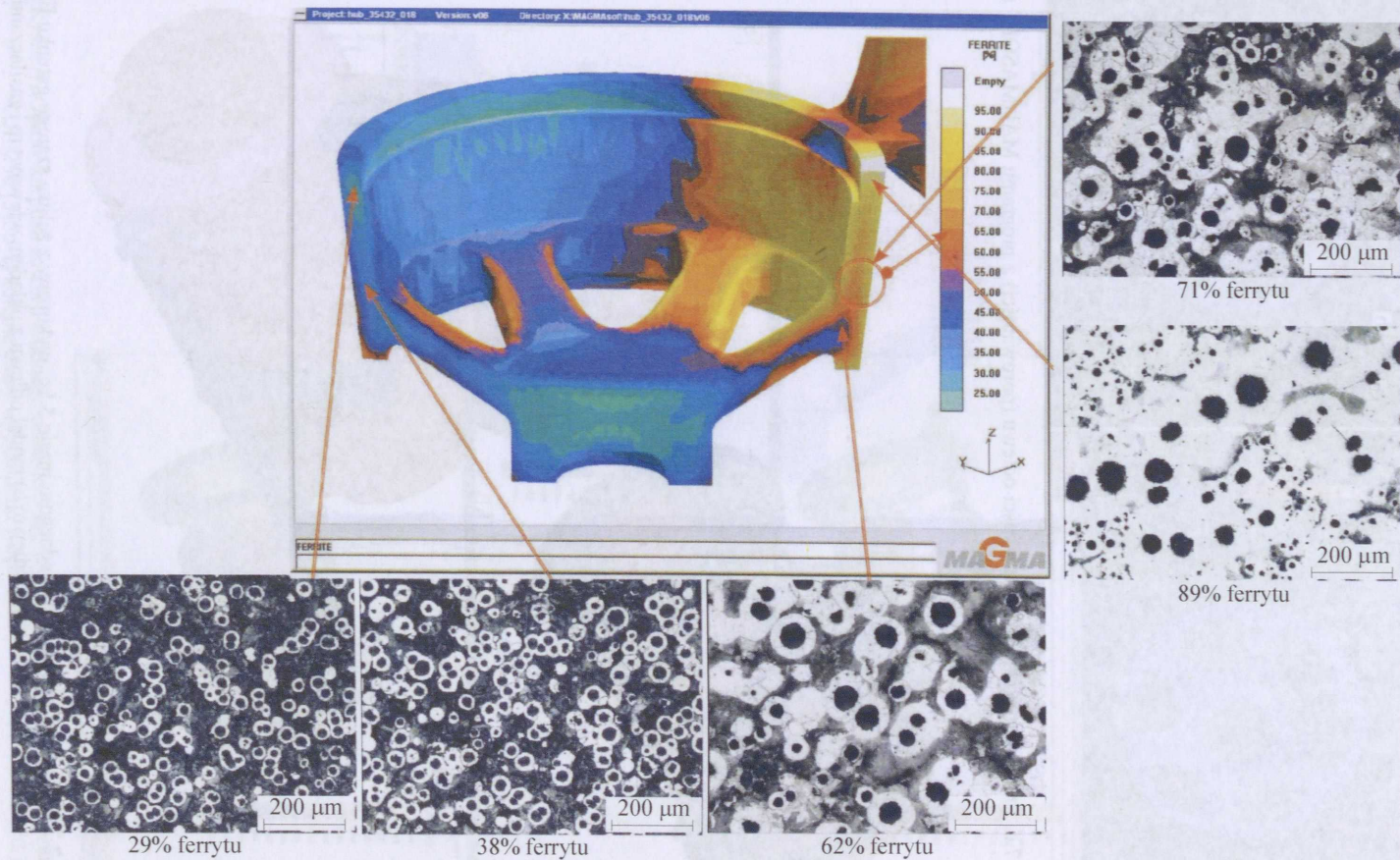
Rys. 7.3. Zapędnianie wnętrza formy; obszary przezroczyste są obszarami niezapełnionymi przez metal



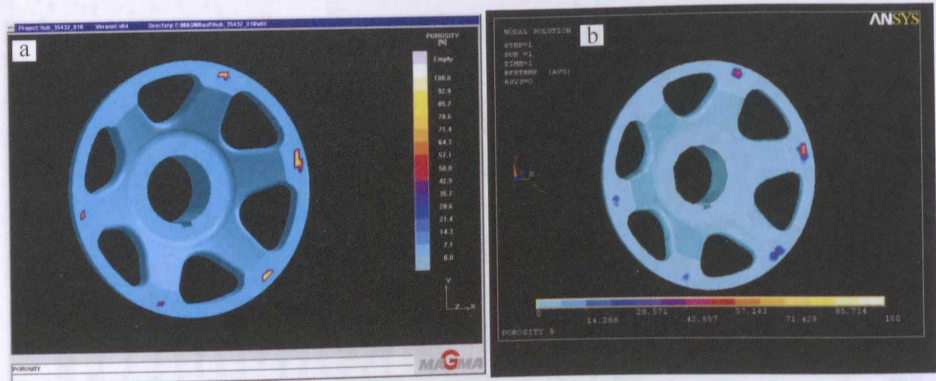
Rys. 7.4. Prognozowana wytrzymałość na rozciąganie R_m materiału w poszczególnych fragmentach odlewu piasty (rys. 7.3) [4]: a) na przekroju; b) w całej bryle; wartość R_m zmienia się od 700 MPa (kolor żółty) do 400 MPa (kolor niebieski) – różnice we właściwościach są wynikiem odmiennych warunków stygnięcia poszczególnych fragmentów odlewu



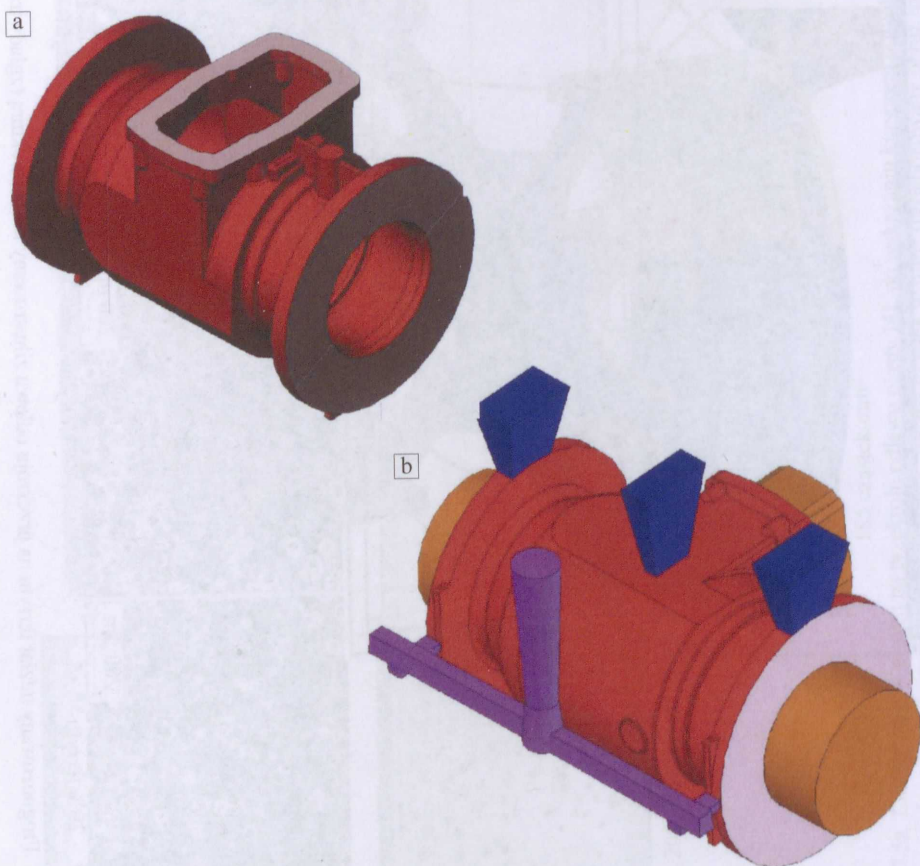
Rys. 7.5a. Liczba cząstek grafitu na przekroju odlewu piasty [4]; po wskazaniu kursorem dowolnego obszaru na przekroju odlewu jest prezentowana jego prognozowana mikrostruktura – liczba cząstek w mm² (prognozowany obraz mikrostruktury jak na zglądzie nietrawionym)



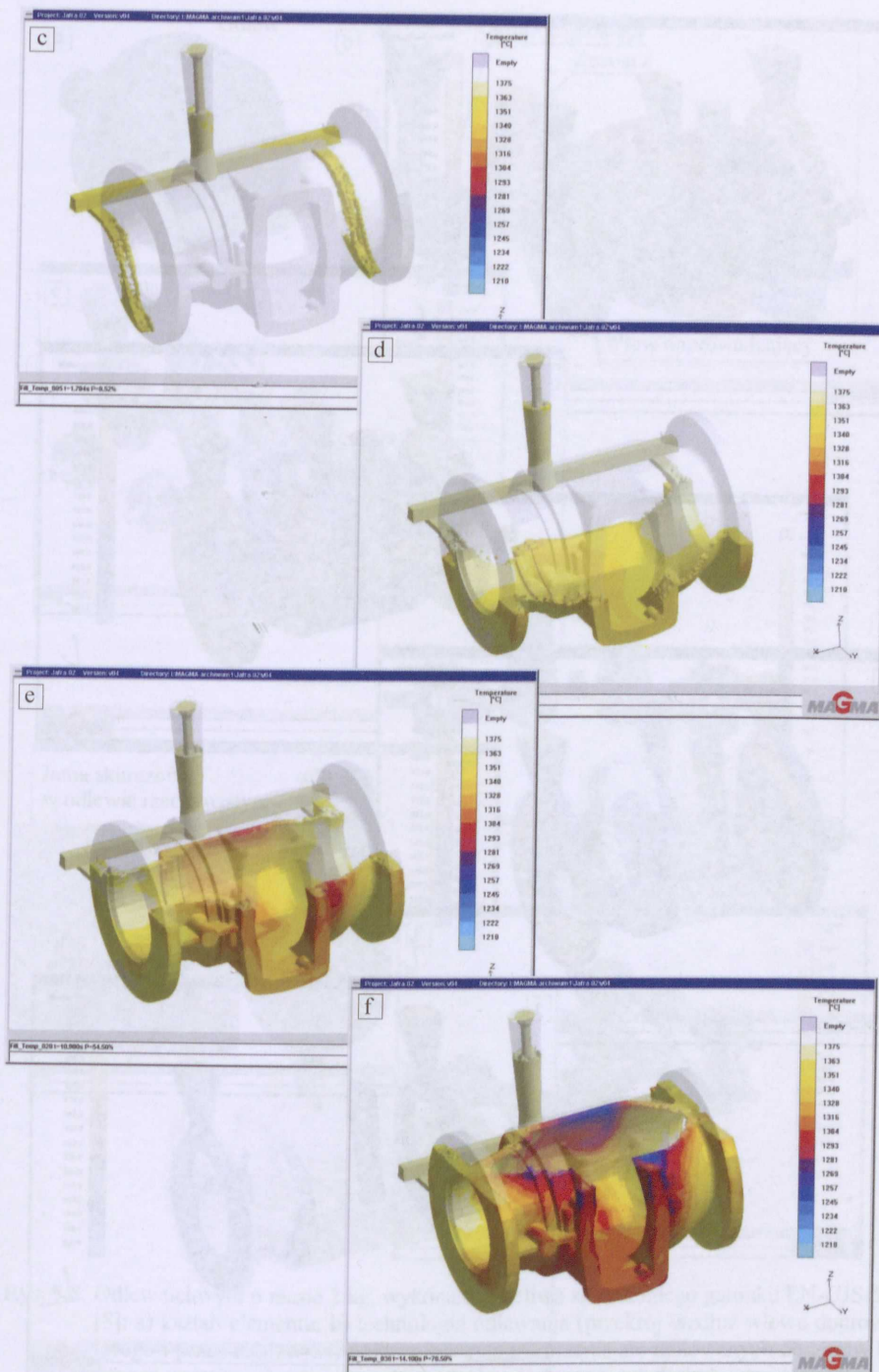
Rys. 7.5b. Prognozowany udział ferrytu na przekroju odlewu zilustrowany mikrostrukturą (zglądy trawione) [4]



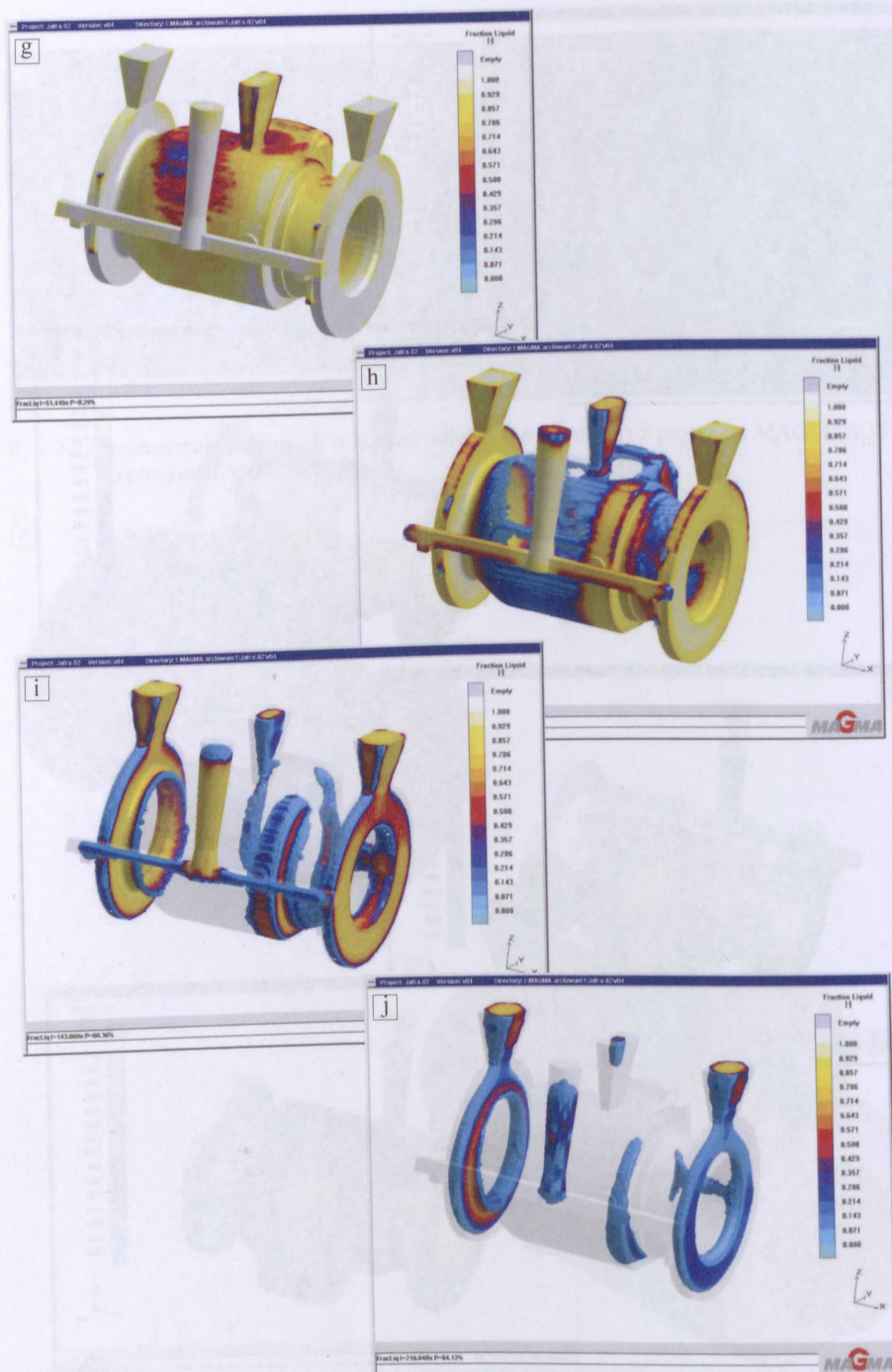
Rys. 7.6. Przenoszenie informacji o jakości odlewu (porowatości) z programu MAGMASOFT (a) do programu ANSYS (b) [4]



Rys. 7.7. Odlew korpusu zaworu wodnego o masie 5 kg, wykonany z żeliwa szarego gatunku EN-GJL-250 [5]: a) wygląd odlewu; b) model odlewu z układem wlewowym i zasilaczami



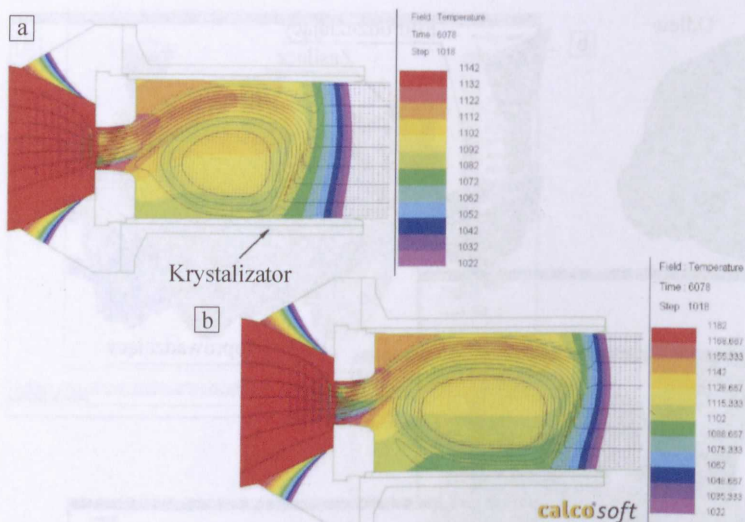
Rys. 7.7. Odlew korpusu zaworu wodnego o masie 5 kg, wykonany z żeliwa szarego gatunku EN-GJL-250 [5]: c-f) kolejne etapy wypełniania wnętrza formy ciekłym metalem (cd.)



Rys. 7.7. Odlew korpusu zaworu wodnego o masie 5 kg, wykonany z żeliwa szarego gatunku EN-GJL-250 [5]: g-j) krzepnięcie odlewu w formie (cd.)

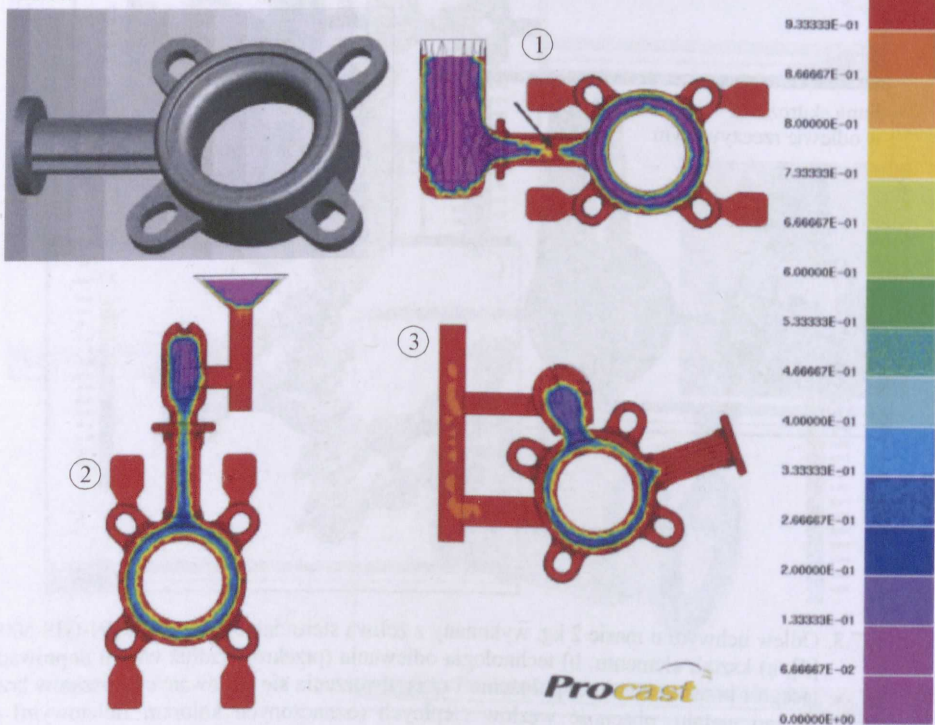


Rys. 7.8. Odlaw uchwytu o masie 2 kg, wykonany z żeliwa sferoidalnego gatunku EN-GJS-500-07 [5]: a) kształt elementu; b) technologia odlawania (przekrój wzdłuż wlewu doprowadzającego i przez nadlew); c) położenie i czas utworzenia się izolowanych obszarów krzepnącego metalu, obecność węzłów cieplnych (oznaczonych kolorem fioletowym) jest przyczyną wad skurczowych; d) wady skurczowe widoczne na przekroju odlawów; e) przekrój przez odlaw rzeczywisty pokazujący zgodność z wynikiem symulacji; f) technologia poprawiona, wyeliminowano wady skurczowe w odlawach



Rys. 7.9. Zmiana profilu frontu krzepnięcia podczas ciągłego odlewania miedzi [6] przy temperaturze metalu w kadzi wynoszącej: a) 1142°C; b) 1182°C; wektor prędkości oznaczono kreskami, a linie prądu liniami ciągłymi

Odlew

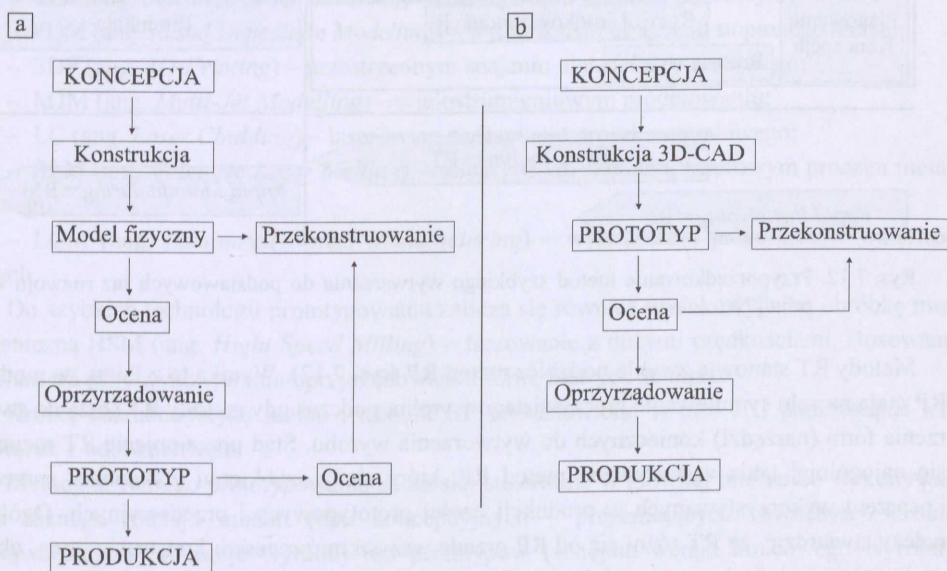


Rys. 7.10. Ocena technologii (1–3) zasilania krzepnącego odlewu, skala kolorów oznacza względną ilość fazy ciekłej w odlewie – kolor czerwony to 100% udziału fazy stałej [6]

Koszt zakupu programu do modelowania komputerowego jest bardzo wysoki, ale jak pokazuje praktyka [3–6], szybko się zwraca.

Opłacalność stosowania programów do modelowania komputerowego uwidacznia się szczególnie przy seryjnej i masowej produkcji odlewów, także w produkcji jednostkowej odlewów wielkogabarytowych, zwykle bardzo pracochłonnych i kosztownych. Główne zalety ich stosowania to [2]: obniżenie kosztów własnych odlewni przez zmniejszenie liczby braków i zwiększenie uzysku metalu oraz przyspieszenie etapu wdrażania produkcji; lepsze zrozumienie przebiegu procesu kształtowania się odlewu, wynikające z możliwości „zagłębienia” w dowolny fragment wnętrza odlewu i formy, oraz możliwość oceny wpływu parametrów procesu odlewania na jakość odlewu.

Metody i techniki szybkiego wytwarzania wyrobów. Pod koniec XX wieku w wielu branżach przemysłu zaczęto powoli odchodzić od masowej produkcji wyrobów konsumpcyjnych wskutek zmiany oczekiwań ich odbiorców. Obecnie konsumenci chcą otrzymywać wyroby o wzrastającej liczbie wariantów produkowanych w małych seriach. Daje im to poczucie posiadania unikatowego wyrobu. Jednocześnie produkt musi nadal charakteryzować się bardzo dobrą jakością i przystępną ceną. Taka postawa konsumentów wymogła na producentach konieczność poszukiwania nowych, szybszych i tańszych metod ich wytwarzania (rys. 7.11). Ich wynikiem są metody szybkiego prototypowania [7–14] – najbardziej dynamicznie rozwijające się technologie wytwarzania w sektorze budowy maszyn i urządzeń, ale też znajdujące zastosowanie w pracy architektów czy archeologów [15].



Rys. 7.11. Wytwarzanie wyrobów: a) podejście tradycyjne; b) z wykorzystaniem metod szybkiego prototypowania [15]

Metody szybkiego prototypowania RP (ang. *Rapid Prototyping*) są obecne w światowej technice od 1978 roku. Ich rozwój zapoczątkowało wdrożenie metody stereolitografii do

wykonywania modeli i prototypów. Obecnie obejmują różnorodne metody i procesy, oparte przede wszystkim na przyrostowym generowaniu kształtowanych wyrobów wprost z danych 3D-CAD – czyli na metodach, w których nie stosuje się w istocie mechanicznych narzędzi w procesie kształtowania wyrobu.

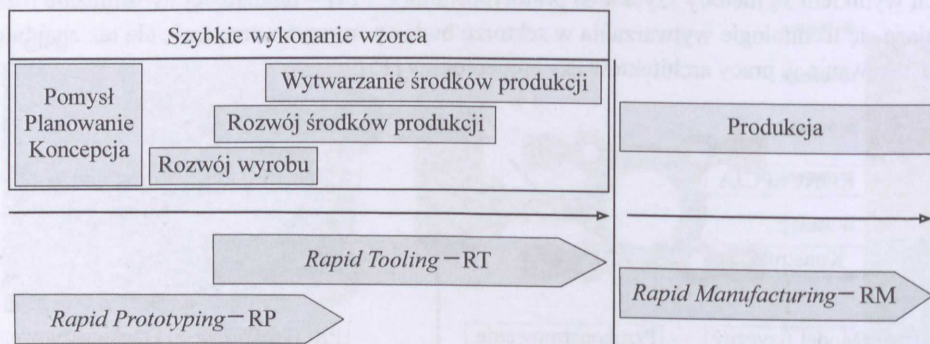
Proces kształtowania przyrostowego opiera się na dwóch metodach [7–14]:

- stopniowym, warstwowym wykonaniu i utwardzaniu materiału aż do momentu uzyskania wymaganego kształtu;
- wykorzystaniu do nanoszenia warstw procesów pokrewnych spajaniu – napawania lub metalizacji natryskowej.

Utwardzanie materiału realizuje się przez wykorzystanie różnych zjawisk fizycznych lub chemicznych (topienie i krzepnięcie, klejenie, fotopolimeryzacja itp.).

W procesie szybkiego wytwarzania wyrobów wyróżnia się trzy fazy ich rozwoju (rys. 7.12) [7–10]:

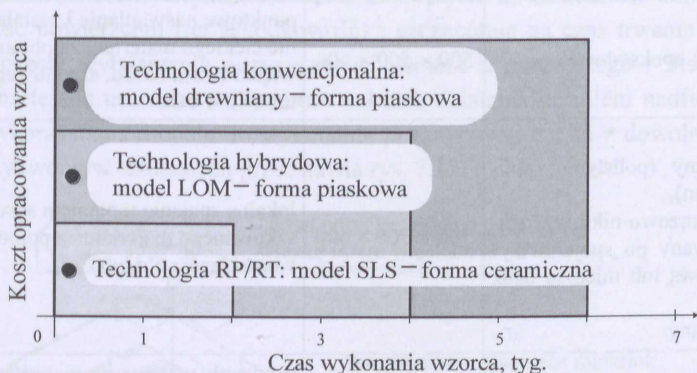
- RP (ang. *Rapid Prototyping*) – szybkie wykonywanie prototypów, modeli i wzorców;
- RT (ang. *Rapid Tooling*) – szybkie budowanie narzędzi czy ogólnie oprzyrządowania, głównie metodami RP;
- RM (ang. *Rapid Manufacturing*) – produkcja jednostkowa i małoseryjna wyrobów.



Rys. 7.12. Przyporządkowanie metod szybkiego wytwarzania do podstawowych faz rozwoju wyrobu [7]

Metody RT stanowią zwykle podzbiór metod RP (rys. 7.12). Wynika to z faktu, że modele RP mają na celu symulowanie rzeczywistego wyrobu, podczas gdy metody RT służą do stworzenia form (narzędzi) koniecznych do wytworzenia wyrobu. Stąd przez pojęcie RT rozumie się najogólniej takie zastosowanie metod RP, które służy szybkiemu wykonaniu narzędzi i osprzętu wykorzystywanych w produkcji części prototypowych i przedseryjnych. Ogólnie należy stwierdzić, że RT różni się od RP przede wszystkim procesem konstrukcyjnym, ukierunkowanym na budowę narzędzia, który musi uwzględniać – oprócz geometrii – również takie czynniki jak: leżność użytego materiału i jego podatność na formowanie, warunki krzepnięcia, skurcz, pochylenia odlewnicze itd. Stanowi to zestaw problemów niewystępujący w procesie RP. Natomiast przez pojęcie RM rozumie się te procesy RP, które umożliwiają wykonanie wyrobów w produkcji o seryjnym charakterze [7–10].

Początkowo procesy RP były stosowane – w porównaniu z podejściem konwencjonalnym – przede wszystkim w celu skrócenia czasu i obniżenia kosztów opracowywanego wyrobu (rys. 7.11–7.13).



Rys. 7.13. Różne technologie wykonania pierwszego wzorca odlewu ze stopu Al [9]

Pośród licznych metod szybkiego prototypowania największy obecnie postęp [12] obserwuje się w odniesieniu do tych RP, RT i RM, które opierają się na:

- SL (ang. *Stereolithography*) – stereolitografii;
- SLS (ang. *Selective Laser Sintering*) – selektywnym spajaniu laserowym;
- FDM (ang. *Fused Deposition Modelling*) – wytłoczonym osadzaniu stopionego metalu;
- 3DP (ang. *3D-Printing*) – przestrzennym spajaniu materiału proszkowego;
- MJM (ang. *Multi-Jet Modelling*) – wielostrumieniowym modelowaniu;
- LC (ang. *Laser Cladding*) – laserowym nadtapianiu proszku metalowego;
- SLM (ang. *Selective Laser Melting*) – selektywnym stapianiu laserowym proszku metalowego;
- LOM (ang. *Laminated Object Manufacturing*) – wytwarzaniu przedmiotów warstwowym.

Do szybkich technologii prototypowania zalicza się również wysokowydajną obróbkę mechaniczną HSM (ang. *High Speed Milling*) – frezowanie z dużymi prędkościami, stosowaną zwłaszcza przy wykonywaniu oprzyrządowania: form, matryc i stempli.

Krótką charakterystykę metod i technik RP przedstawiono w tab. 7.1, podkreślając ich związek z odlewnictwem.

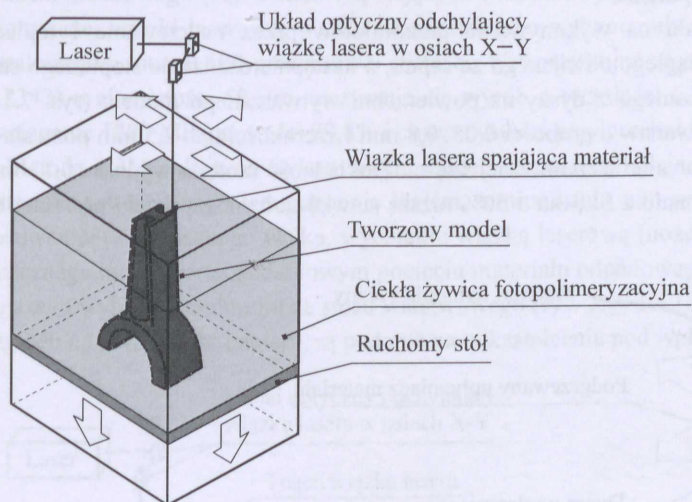
Metody szybkiego prototypowania są dzisiaj stosowane w głównej mierze do wykonywania różnego rodzaju modeli (np.: koncepcyjnych – prezentujących zewnętrzny kształt i najważniejsze proporcje wyrobu) lub prototypów (wstępna wersja końcowego wyrobu) w ramach szybkiego rozwoju wyrobów, czyli koncentrują się na RP [12]. Bardzo ważną zaletą urządzeń wytwarzających modele jest automatyczny cykl ich pracy oraz w większości przypadków przystosowanie do eksploatacji w warunkach biurowych. Oznacza to w praktyce, że konstruktor na każdym etapie projektowania, nie odchodząc od biurka, może otrzymać (nawet w ciągu kilku godzin) odpowiedni model ułatwiający mu podejmowanie dalszych decyzji.

Tabela 7.1. Charakterystyka wybranych metod i technik szybkiego wykonywania wyrobów [7–15]

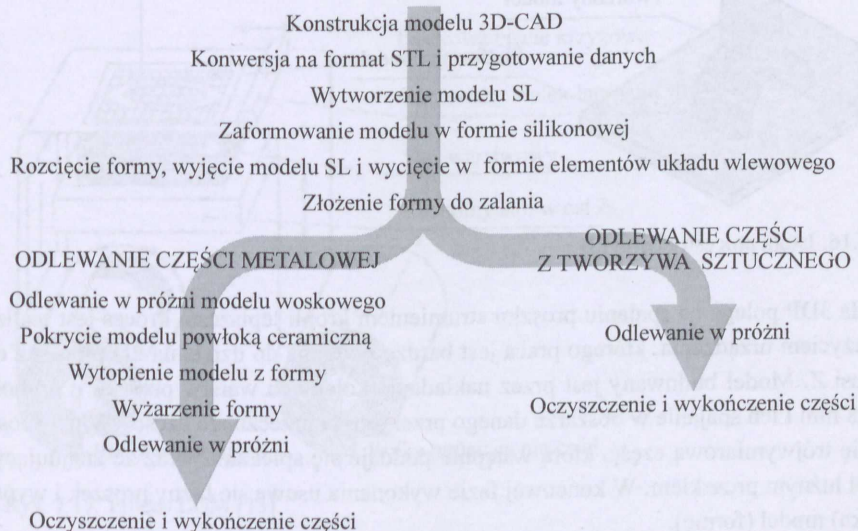
Akro- nim nazwy	Kształtowany materiał	Przestrzeń robo- cza ¹⁾ , mm	Zasada procesu
SL	żywice akrylowe i epoksydowe	500 × 500 × 600	punktowe naświetlanie i zestala- nie ciekłego materiału za pomocą wiązki lasera HeCd, argonowego lub Nd: YVO ₄
SLS	a) proszek: – termoplastyczny (polistyren, poli- amid, poliwęglan), – metalowy (brązowo-niklowy, sta- łowy) infiltrowany po spojeniu ży- wicą epoksydową lub miedzią bądź stopem miedzi b) piasek powlekany	300 × 300 × 600	lokalne spajanie topieniem spro- szkowanego materiału za pomocą wiązki lasera Nd lub CO ₂
FDM	termoplastyczne włókna, воск	500 × 460 × 600	osadzanie warstwowe materiału roztopionego w wylączarce
3DP	proszek ceramiczny: Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , SiC	500 × 360 × 500	spajanie proszku strumieniem kropli lepiszcza w postaci galaretowatej krzemionki
MJM	mieszanka polistyrenowa	300 × 200 × 200	termiczne nanoszenie materiału układem wielodyszowym i utwar- dzanie promieniowaniem UV
LC	proszek metalowy	1000 × 2000 × 750	nadtapianie materiału doprowa- dzonego dyszą współosiowo z promieniem laserowym
SLM		120 × 120 × 150	selektywne stapianie kolejnych warstw materiału (bez środków spajających i topników) za pomocą wiązki lasera
LOM	papier arkuszowy, powleczona klejem folia papierowa odwijana z rolki, two- rzywo sztuczne, kompozyt papier – tworzywo sztuczne	800 × 560 × 500	wycinanie wiązką lasera CO ₂ lub nożem sterowanym NC obrysu modelu na warstwie materiału spojonej z poprzednią warstwą
HSM	materiały narzędziowe, w tym głównie utwardzone stałe narzędziowe	700 × 750 × 420	wysokowydajna obróbka skrawaniem
¹⁾ Wymiar komory roboczej podany na podstawie produkowanych urządzeń.			

Zastosowanie metod szybkiego prototypowania w odlewnictwie, na obecnym etapie rozwoju, jest ograniczone z uwagi na możliwości wykonywania jedynie krótkich serii odlewów (np. do 250 sztuk). Natomiast wykorzystanie w RT różnych metod odlewania jest niemal powszechne. Na przykład wykonywanie odlewów metodą odlewania odśrodkowego czy precyzyjnego. Odlewanie w próżni poleca się jako najszybszą technologię prototypowej lub przed-seryjnej produkcji części z wykorzystaniem modeli wykonywanych jedną z metod RP (SL, SLS, FDM, LOM) lub metodą konwencjonalną [12].

Metoda SL polega na zestalaniu lub utwardzaniu żywicy w efekcie działania zogniskowanej wiązki promieniowania laserowego (rys. 7.14). Przez warstwowe utwardzanie fotopolimeru i następne obniżanie platformy powstaje trójwymiarowy obraz wytwarzanego modelu. Grubość warstwy wynosi 0,1–0,2 mm i wpływa na dokładność budowanego przedmiotu, jakość powierzchni (jej schodkowość) i szczególnie na czas trwania procesu. Po właściwym procesie wytwarzania oczyszcza się element z przywartego i nieutwardzonego polimeru, a następnie utwardza w komorze wskutek działania promieni nadfioletowych. Dalsze etapy wykorzystania modelu do wykonania prototypowej części z dowolnego stopu odlewniczego czy tworzyw sztucznych przedstawia rys. 7.15.



Rys. 7.14. Istota procesu SL [13]

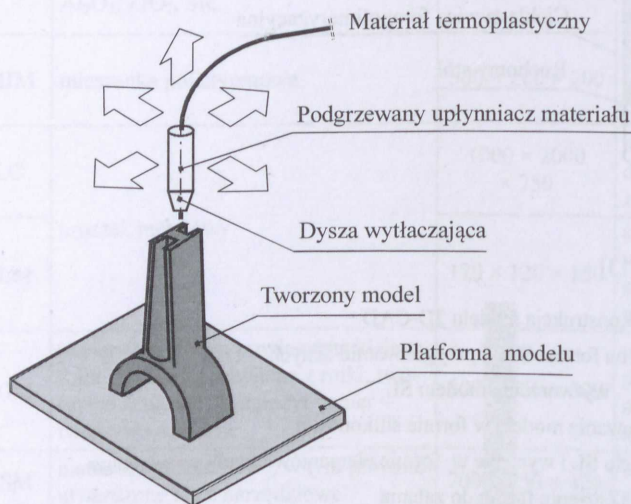


Rys. 7.15. Precyzyjne odlewanie części z użyciem modelu SL [8]

Metoda SLS jest procesem podobnym do procesu SL, ale zamiast żywicy stosuje się łatwo-
topliwy, spiekalny materiał w postaci proszku. Warstwa takiego proszku, o grubości
0,15–0,2 mm, jest наносzona w atmosferze gazu obojętnego, a następnie selektywnie spajana
wiązką lasera w obszarze określonym geometrią danego poprzecznego przekroju wykonywa-
nego modelu. Prędkość skanowania może dochodzić do 7,5 m/s. Model po zakończeniu pro-
cesu poddawany jest obróbce wykańczającej, odpowiedniej do jego przeznaczenia.

Istotną zaletą modelu jest fakt, że spiekaniu można poddawać prawie wszystkie materiały
w sproszkowanej postaci, podatne na topienie lub zmiękczenie pod wpływem temperatury.
Jeżeli jest on porowaty, należy poddać go dodatkowemu spiekaniu lub nasycaniu materiałem
o niższej temperaturze topnienia.

Metoda FDM pozwala na wykonywanie przedmiotów przez nagrzewanie i topienie
w upływniaczu włókna ciągłego odwijanego ze spuli, a następnie osadzanie stopionego stru-
mienia materiału wytłaczanego z dyszy na powierzchni wytwarzanego modelu (rys. 7.16).
Sukcesywne nakładanie warstw o grubości 0,05–0,8 mm i szerokości 0,3–2,5 mm pozwala na
relatywnie szybkie wykonanie kształtowanej części. Dokładność modelu wynosi $\pm 0,13$ mm.
Metoda FDM, w porównaniu z SL, ma o 50% niższą stawkę godzinową dzięki prostszej bu-
dowie urządzeń [12, 13].



Rys. 7.16. Istota procesu FDM [13]

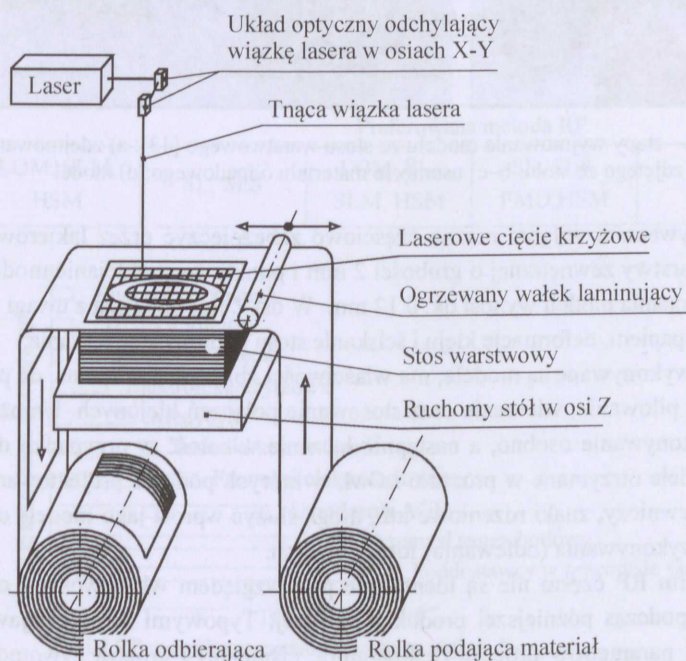
Metoda 3DP polega na spajaniu proszku strumieniem kropli lepiszcza. Proces jest realizo-
wany z użyciem urządzenia, którego praca jest bardzo podobna do działania 2D plotera z do-
daniem osi Z. Model budowany jest przez nakładanie kolejnych warstw proszku o grubości
0,12–0,18 mm i ich spajanie w obszarze danego przekroju poprzecznego części. W ten sposób
tworzy się trójwymiarową część, którą wstępnie poddaje się spiekaniu wraz ze znajdującym
się wokół luźnym proszkiem. W końcowej fazie wykonania usuwa się luźny proszek i wypala
się (spieka) model (formę).

Metoda MJM opiera się na termicznym nanoszeniu materiału układem wielodyszowym i jego utwardzaniu promieniem ultrafioletowym.

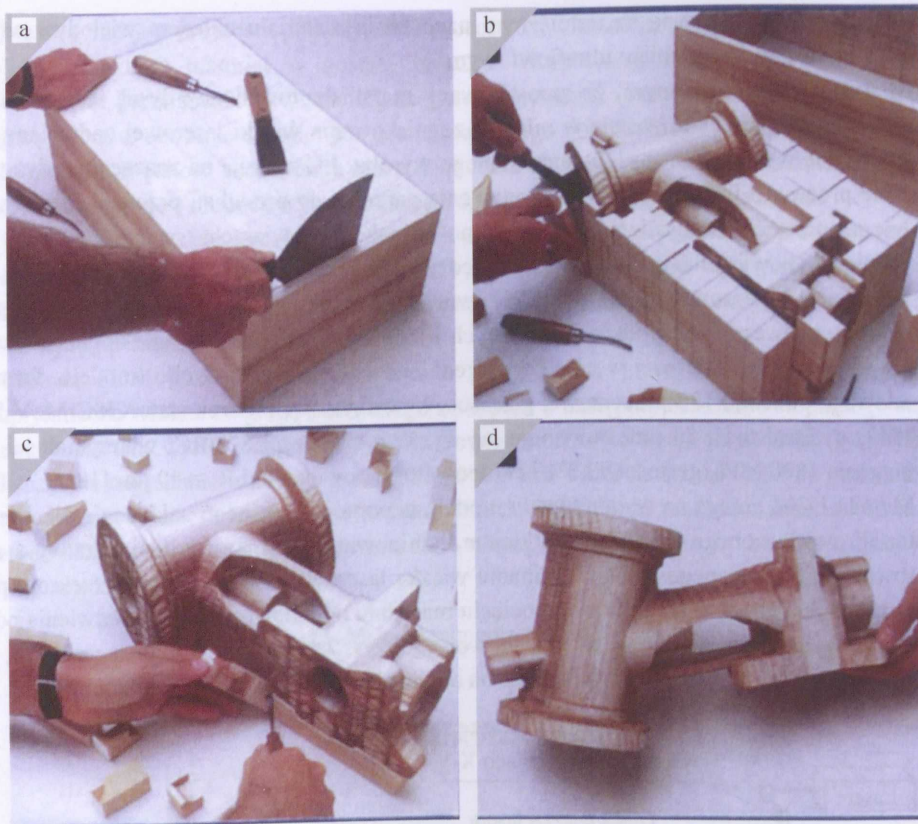
Metoda LC polega na tym, że sproszkowany metal, doprowadzony dyszą współosiowo z promieniem laserowym, zostaje w miejscu zogniskowania wiązki laserowej nadtapiany na powierzchnię wykonywanego lub naprawianego wyrobu. LC zyskuje na znaczeniu, gdyż tradycyjne procesy RT stosowane do wykonywania narzędzi do produkcji przedseryjnej często nie mogą sprostać wymaganiom co do żywotności i jakości powierzchni narzędzi. Odnosi się to również do nowych lub naprawianych narzędzi przeznaczonych do produkcji seryjnej.

Metoda SLM sprowadza się do selektywnego stapiania kolejnych warstw „czystego” proszku metalowego (bez środków spajających i topników) za pomocą silnie zogniskowanej i sterowanej wiązki laserowej w celu bezpośredniego wytworzenia wyrobu (modelu, formy) metalowego o niemal 100-procentowej gęstości. Wykorzystując proszek stali X38CrMoV 5-1 (1.2343) o ziarnistości 50 μm , otrzymuje się wyrób o twardości 52HRC, wytrzymałości na rozciąganie 1800 MPa, gęstości 99,8% i chropowatości powierzchni $R_z = 50 \mu\text{m}$ [12].

Metoda LOM polega na wykonywaniu modeli za pomocą kolejnego nakładania cienkiego materiału powleczonego jednostronnie klejem, laminowaniu nim poprzedniej warstwy z zastosowaniem ogrzewanego wałka, wycinaniu wiązką laserową (nożem) obrysu przekroju poprzecznego modelu oraz dodatkowym pocięciu materiału odpadowego w celu ułatwienia późniejszego wyjęcia przedmiotu ze stosu warstwowego (rys. 7.17 i 7.18). Wykonane modele, ze względu na porowatość papieru, są podatne na odkształcenia pod wpływem wilgoci.



Rys. 7.17. Proces LOM [13]



Rys. 7.18. Metoda LOM – etapy wyjmowania modelu ze stosu warstwowego [13]: a) zdejmowanie ramy ze stosu zdjętego ze stołu; b-c) usunięcie materiału odpadowego; d) model

Modele przed oddziaływaniem wilgoci można częściowo zabezpieczyć przez lakierowanie, nasączenie żywicą warstwy zewnętrznej o grubości 2 mm i punktowe podklejanie modeli [12, 13]. Dokładność wykonania modeli wynosi ok. 0,12 mm. W osi Z jest mniejsza z uwagi na wahania grubości arkusza papieru, deformację kleju i ścisnienie stosu podczas laminowania.

Tworzywo, z którego wykonywane są modele, ma właściwości zbliżone do drewna, co pozwala na ich szlifowanie, piłowanie, wiercenie oraz stosowanie połączeń klejonych. Umożliwia to ich dzielenie, wykonywanie osobno, a następnie łączenie w całość w przypadku dużych elementów [1]. Modele otrzymane w procesie LOM, w których podczas projektowania uwzględniono skurcz odlewniczy, znaki rdzeniowe itd., mogą służyć wprost jako modele odlewnicze lub modele do wykonywania (odlewania) form trwałych.

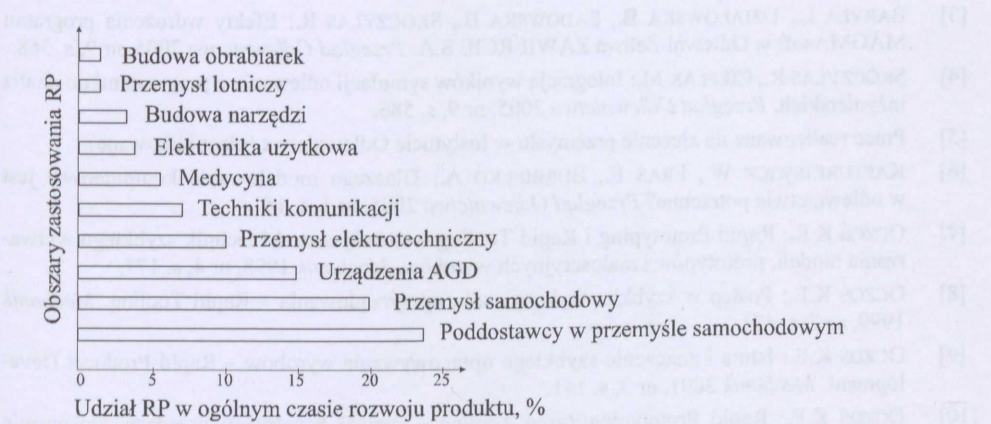
Odlewy z modeli i form RP często nie są identyczne pod względem właściwości z odlewami wykonywanymi podczas późniejszej produkcji seryjnej. Typowymi bowiem zjawiskami są niższe wartości parametrów procesu (temperatura, ciśnienie) i krótsza żywotność form. Wszystko to sprawia, że przy obecnym stanie techniki, odlewy wykonywane z użyciem form RP pozostają nadal odlewami prototypowymi [12, 13].

Metoda HSM, chociaż należy do ubytkowych, a nie przyrostowych metod wytwarzania (jak inne techniki RT), to jednak wymieniana jest wspólnie, ponieważ ją również stosuje się do wytwarzania różnego rodzaju oprzyrządowania, w tym zwłaszcza matryc, form i stempli. HSM należy zaliczyć do metod RM. Jest to wysokowydajne frezowanie wyrobów metalowych z zastosowaniem nowoczesnych CNC-frezarek. Obecnie strategia frezowania przejęła rolę głównego elementu technologii obróbki skrawaniem, gwarantując bardzo dobrą jakość powierzchni wskutek frezowania wstępnego, a następnie wykańczającego [12].

Zastosowanie technik RP, poza precyzyjnym odlewaniem, pozostaje jeszcze w fazie rozwojowej. Opracowane na podstawie metody SLS czy 3DP wersje urządzeń do bezpośredniego wykonywania form i rdzeni metodą Croninga (rdzenie i formy skorupowe) [14] czy metoda bezpośredniego żłobienia w masie formierskiej (niem. *Direktes Formstoff-Fräsen*) nie stanowią ekonomicznej alternatywy dla tradycyjnych technologii obecnie stosowanych. Można natomiast wskazać, które metody RP/RT mogą wspomagać wytwarzanie odlewów poszczególnymi metodami (tab. 7.2). Uogólniając, techniki RP są narzędziem, które jest coraz częściej stosowane w biurach projektowych (rys. 7.19).

Tabela 7.2. Metody RP/RT stosowane w wykonywaniu form odlewniczych i w różnych metodach odlewania [13]

Rodzaj formy odlewniczej					
jednorazowa			trwała		
Metoda odlewania					
kokilowa	odśrodkowa	ciśnieniowa	precyzyjna	pełnej formy	w formie piaskowej
Preferowana metoda RP					
LOM, SLM, HSM	SL, SLS	LOM, SL, SLM, HSM	SL, SLS, FMD,HSM	SLS	



Rys. 7.19. Obszary zastosowania technik RP i ich udział w rozwoju produktu [15]

Metody szybkiego prototypowania umożliwiają wykonywanie wyrobów, których struktura geometryczna dotychczas nie pozwalała na ich wytworzenie ze względów technicznych czy ekonomicznych. Jednak nie należy oczekiwać w najbliższej przyszłości, że wyeliminują one z przemysłu tradycyjne techniki wytwarzania. Natomiast będą je coraz częściej uzupełniać [12]. Dowodzi tego praktyka przemysłowa (rys. 7.16) [15].

7.2. PRZEBIEG ĆWICZENIA

W trakcie ćwiczenia zostaną zaprezentowane i omówione:

- pokazy multimedialne symulacji procesów odlewania,
- metody szybkiego prototypowania oraz części wytworzone metodami RP.

7.3. SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Cel i zakres ćwiczenia.
2. Przykłady wykorzystania symulacji komputerowych oraz metod i technik szybkiego wykonywania wyrobów w odlewnictwie zaczerpnięte z Internetu.
3. Wnioski.

LITERATURA

- [1] PĄCZEK Z.: Doświadczenia ostatnich lat w zakresie wykorzystania wspomagania komputerowego w praktyce odlewniczej. *Przegląd Odlewnictwa* 2002, nr 6, s. 208.
- [2] kom.odlew, www.kom.odlew.pl, dostęp 10.01.2013.
- [3] BARYŁA L., DZIAŁOWSKA B., SADOWSKA B., SKOCZYŁAS R.: Efekty wdrożenia programu MAGMAsoft w Odlewni Żeliwa ZAWIERCIE S.A. *Przegląd Odlewnictwa* 2005, nr 9, s. 568.
- [4] SKOCZYŁAS R., CIEPLAK M.: Integracja wyników symulacji odlewania z programami do analiz inżynierskich. *Przegląd Odlewnictwa* 2005, nr 9, s. 586.
- [5] Prace realizowane na zlecenie przemysłu w Instytucie Odlewnictwa (niepublikowane).
- [6] KAPTURKIEWICZ W., FRAŚ E., BURBIELKO A.: Dlaczego modelowanie komputerowe jest w odlewnictwie potrzebne? *Przegląd Odlewnictwa* 2005, nr 1, s. 15.
- [7] OCZOŚ K.E.: Rapid Prototyping i Rapid Tooling – rozwój metod i technik szybkiego wytwarzania modeli, prototypów i małoseryjnych wyrobów. *Mechanik* 1998, nr 4, s. 177.
- [8] OCZOŚ K.E.: Postęp w szybkim wykonywaniu oprzyrządowania – Rapid Tooling. *Mechanik* 1999, nr 7, s. 471.
- [9] OCZOŚ K.E.: Istota i znaczenie szybkiego opracowywania wyrobów – Rapid Product Development. *Mechanik* 2001, nr 3, s. 141.
- [10] OCZOŚ K.E.: Rapid Prototyping/Rapid Tooling – rozwój konstrukcji urządzeń, stosowanie materiałów i technologii. *Mechanik* 2001, nr 4, s. 217.
- [11] KARPIŃSKI T.: *Inżynieria produkcji*. Warszawa, WNT, 2004.

- niczny 2010, nr 2, s. 39.

Ćwiczenie 8

WYTWARZANIE ŻELIWA MODYFIKOWANEGO

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z:

- klasyfikacją żeliwa szarego z grafitem płatkowym wg PN-EN 1561;
- budową i zasadą działania tyglowego pieca indukcyjnego;
- prowadzeniem wytopu w tyglowym piecu indukcyjnym średniej częstotliwości, z wykładziną kwaśną, na przykładzie wytopu żeliwa gatunku EN-GJL-250;
- oceną jakości żeliwa (jego skłonności do grafityzacji przed zabiegiem modyfikacji i po zabiegu) na podstawie wyglądu przełomu próbki w kształcie klina (tzw. próbą klinową);
- kontrolą i oceną efektu modyfikacji żeliwa z użyciem aparatu Crystaldigraf (metoda ATD).

8.1. WPROWADZENIE

Żeliwem nazywamy stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami krzepnący z przemianą eutektyczną [1–3].

W zależności od rodzaju faz wysokowęglowych i związanego z tym wyglądu przełomu rozróżnia się [1]:

- żeliwo szare, krzepnące wg układu stabilnego; w jego strukturze węgiel występuje w stanie wolnym, tj. w postaci grafitu, a zawartość węgla związanego nie przekracza zawartości tego pierwiastka w perlicie;
- żeliwo białe, krzepnące wg układu metastabilnego; w jego strukturze występuje węgiel wyłącznie w stanie związanym, tj. w postaci cementytu Fe_3C ;
- żeliwo połowiczne, krzepnące częściowo wg układu stabilnego, częściowo zaś wg układu metastabilnego; w jego strukturze występuje węgiel w postaci grafitu i cementytu, przy czym ilość węgla związanego przekracza zawartość węgla w perlicie.

Ze względu na kształt grafitu rozróżnia się żeliwo szare z grafitem: płatkowym, kulkowym (żeliwo sferoidalne), wermikularnym oraz żarzenia (żeliwo ciągliwe).

Żeliwo szare z grafitem płatkowym jest jednym z najstarszych konstrukcyjnych stopów odlewniczych. Jednocześnie koszt wytwarzanych z niego odlewów jest mały w porównaniu z pozostałymi stopami odlewniczymi. Korzystne właściwości odlewnicze i technologiczne oraz dobre właściwości mechaniczne sprawiają, że należy ono do podstawowych materiałów stosowanych w przemyśle budowy maszyn [1–3].

Żeliwo szare z grafitem płatkowym klasyfikuje się wg dwóch kryteriów: wytrzymałości na rozciąganie R_m i twardości HB (tab. 8.1). Każdemu gatunkowi żeliwa odpowiada tylko jeden symbol lub numer (numer materiału).

Oznaczenia żeliwa szarego z grafitem płatkowym są następujące (tab. 8.1):

- EN- – przedrostek stosowany tylko dla materiałów znormalizowanych;
- GJL – przedrostek, w którym litera G oznacza materiał odlewany, J żeliwo, a L grafit płatkowy;
- -(150, ...350) lub -(155, ...255) – symbole dotyczące, odpowiednio, żeliwa jest klasyfikowanego wg minimalnej wartości wytrzymałości na rozciąganie lub żeliwa klasyfikowanego na podstawie jego twardości.

Tabela 8.1. Oznaczanie żeliwa szarego z grafitem płatkowym (PN-EN 1561. *Odlewnictwo – Żeliwo szare*)

W zależności od wytrzymałości na rozciąganie R_m (MPa)		W zależności od twardości HB	
symbol	numer	symbol	numer
EN-GJL-100	5.110	EN-GJL-HB155	5.1101
EN-GJL-150	5.1200	EN-GJL-HB175	5.1201
EN-GJL-200	5.1300	EN-GJL-HB195	5.1304
EN-GJL-250	5.1301	EN-GJL-HB215	5.1305
EN-GJL-300	5.1302	EN-GJL-HB235	5.1306
EN-GJL-350	5.1303	EN-GJL-HB255	5.1307

Żeliwo od EN-GJL-100 do EN-GJL-200 wytapia się w piecach bez specjalnych zabiegów metalurgicznych mających na celu podwyższenie jego jakości. Natomiast żeliwo od EN-GJL-250 do EN-GJL-350 jest powszechnie wytwarzane jako żeliwo modyfikowane – poddaje się je zabiegowi modyfikacji (to pojęcie zostanie wyjaśnione w dalszej części tekstu).

Nazwa nie ujmuje składu chemicznego żeliwa szarego z grafitem płatkowym. Należy jednak pamiętać, że znajomość składu chemicznego znacznie ułatwia przygotowanie określonego gatunku żeliwa (tab. 8.2).

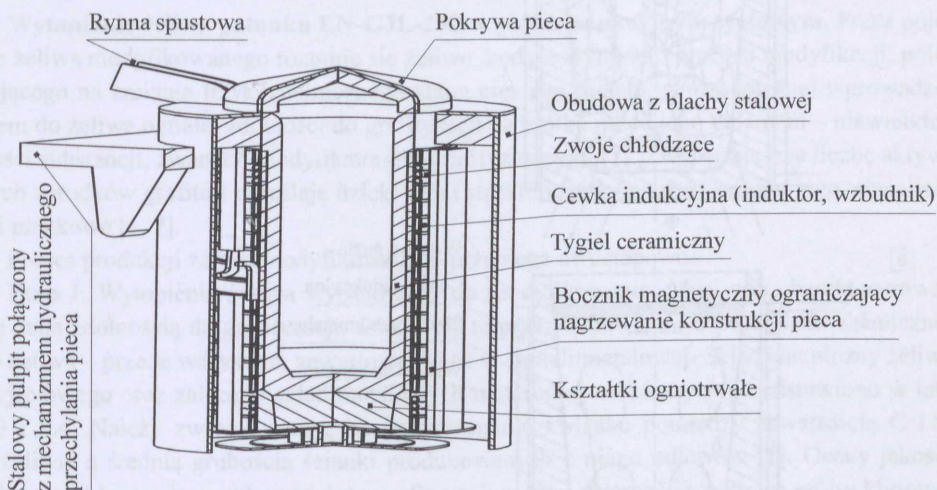
Tabela 8.2. Orientacyjny skład chemiczny (% mas.) żeliwa szarego z grafitem płatkowym [4]

Symbol żeliwa	C	Si	Mn	P_{max}	S_{max}
EN-GJL-100	3,2–3,8	2,3–2,6	0,5–0,8	0,60	0,15
EN-GJL-150	3,1–3,4	2,0–2,3			
EN-GJL-200	3,0–3,2	1,8–2,0	0,6–0,9	0,50	0,12
EN-GJL-250	2,8–3,1	1,5–1,8	0,8–1,1	0,32	
EN-GJL-300	2,8–3,0	1,3–1,6	1,1–1,4	0,30	
EN-GJL-350	2,7–3,0	1,2–1,6	1,2–1,5	0,25	

Do wytopu żeliwa stosuje się głównie żeliwiaki (piece szybkie opalane koksem) oraz piece indukcyjne tyglowe. Natomiast rzadziej piece łukowe czy piece obrotowe gazowe [1].

Piece indukcyjne tyglowe stosuje się powszechnie do wytapiania różnego rodzaju stopów, w tym głównie żeliwa i metali nieżelaznych. Mają pojemność od kilku kilogramów (piece

laboratoryjne) do kilkudziesięciu ton (rys. 8.1). W przypadku topienia żeliwa są szczególnie przydatne, gdy ten proces sprowadza się do przetopienia dobranych w odpowiednich proporcjach: żelazostopów, surówki odlewniczej, selekcionowanych własnych odpadów stopowych i złomu stalowego. Jeśli w piecu jest zastosowana wykładzina kwaśna, w trakcie wytapiania należy się liczyć z procesami redukcji krzemionki z jego wymurówki przez niektóre pierwiastki znajdujące się we wsadzie. W efekcie obserwuje się niepożądaną zmianę składu chemicznego kąpieli metalowej oraz przyspieszone zużycie wymurówki. Zdecydowanie niższy (w porównaniu z masami zasadowymi i obojętnymi) koszt wymurówki kwaśnej z reguły kompensuje obniżoną jej trwałość, natomiast otrzymanie założonego składu ciekłego metalu może okazać się utrudnione bądź niemożliwe [1, 5].



Rys. 8.1. Schemat konstrukcji pieca indukcyjnego HEVY STEEL SHELL firmy Inductotherm, o pojemności 70 ton (wg [6])

Zasadniczą częścią pieca indukcyjnego tyglowego (rys. 8.1) jest cewka indukcyjna otaczająca tygiel ceramiczny, który w części górnej jest połączony z rynną spustową i przykrywany pokrywą. Cewka stanowi uzwojenie pierwotne i jest wykonana z zamkniętych profili miedzianych od wewnątrz chłodzonych wodą. Natomiast uzwojeniem wtórnym jest wsad metalowy załadowywany do tygla. Całość obudowana jest blachą stalową i posadowiona na trzonie wykonanym z kształtek ceramicznych ogniotrwałych.

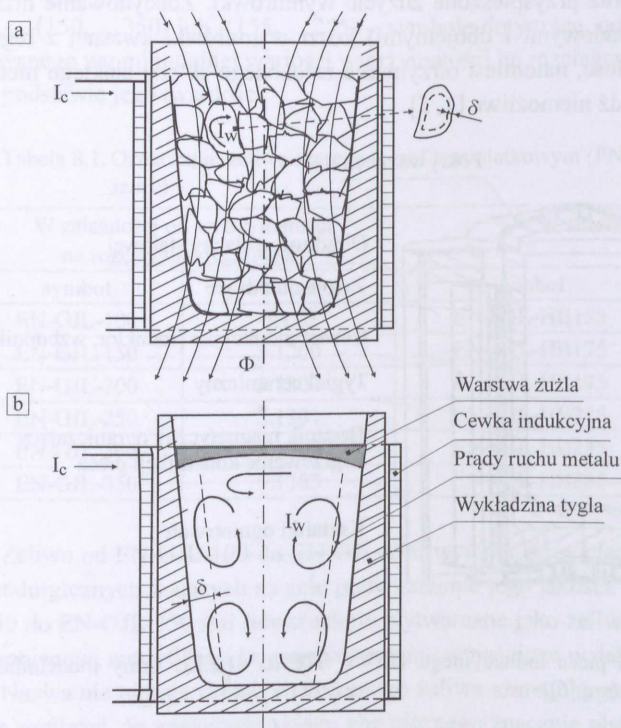
Komplet urządzeń pieca uzupełnia bateria kondensatorów zasilana tyrystorowo, pulpit sterowania oraz korpus pieca stanowiący konstrukcję stalową umocowaną na fundamencie. Korpus jest połączony z mechanizmem (zwykle hydraulicznym) przechylania pieca umożliwiającym jego obracanie wokół osi o kąt $90\text{--}100^\circ$ w celu spustu (rozłania) metalu.

Najważniejszymi zaletami technologiczno-metalurgicznych pieców indukcyjnych są [5]:

- możliwość otrzymania stopów o małej zawartości gazów i wtrąceń niemetalicznych;
- mały zgar pierwiastków stopowych;
- duża sprawność energetyczna pieca w okresie przegrzewania i przetrzymywania ciekłego metalu;

- mieszanie elektrodynamiczne metalu zapewniające ujednorodnienie stopu pod względem składu chemicznego i temperatury, przyspieszające przebieg reakcji pomiędzy żużłem a metalem i ułatwiające wypływanie wtrąceń niemetalicznych;
- spokojna, cicha i czysta praca pieca.

Piece indukcyjne tyglowe zasilane są napięciem przemiennym o częstotliwości sieciowej, małej lub średniej [5]. Zasadę ich działania ilustruje rys. 8.2.



Rys. 8.2. Zasada działania tyglowego pieca indukcyjnego [2]: a) nagrzewanie i roztopianie stałego wsadu; b) przegrzanie ciekłego metalu; δ – głębokość wnikania prądu, I_c – natężenie prądu płynącego przez wzbudnik, I_w – natężenie prądu wirowego we wsadzie, Φ – strumień magnetyczny

Wzbudnik wraz tygłem jest zainstalowany w obudowie z paramagnetycznej blachy. Jeżeli przepływa przez niego prąd zmienny o natężeniu I_c (rys. 8.2), to przez tygiel przenika zmienny strumień magnetyczny Φ , który indukuje prąd o natężeniu I_w w kawałkach wsadu lub w ciekłym metalu. Energia elektryczna prądu zamienia się w energię cieplną, powodując topienie wsadu, a następnie przegrzewanie kąpieli metalowej. Prąd I_w płynie we wsadzie głównie przy jego powierzchni do głębokości δ zwanej głębokością wnikania, która to wielkość jest charakterystycznym parametrem nagrzewania indukcyjnego. Głębsze warstwy wsadu nagrzewają się na skutek przewodzenia ciepła.

Zjawiskiem charakterystycznym dla pieców indukcyjnych jest nieznaczna na ogół głębokość wnikania prądu w głąb metalu. Głębokość wnikania wynosi w ciekłym żeluzie 8–20 mm przy $f = 5000\text{--}10000$ Hz, zwiększając się przy częstotliwości sieciowej (50 Hz) do 80 mm.

We wsadzie stałym wartości δ są znacznie mniejsze [3]. Te dane wskazują, jak ważny dla sprawności procesu topienia jest właściwy dobór kawałkowatości wsadu.

Głębokość wnikania prądu w metal maleje wraz ze zwiększeniem częstotliwości [1, 2, 5]:

$$\delta = \frac{5,03}{10^6} \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\mu_w \cdot f}} \tag{8.1}$$

gdzie:

- δ – głębokość wnikania prądu w metal, m,
- ρ – rezystywność materiału wsadu, Ωm ,
- μ_w – względna przenikalność magnetyczna nagrzewanego wsadu,
- f – częstotliwość prądu, Hz.

Wytapianie żeliwa gatunku EN-GJL-250 w piecu indukcyjnym tyglowym. Przez pojęcie żeliwa modyfikowanego rozumie się żeliwo, będące wynikiem procesu modyfikacji, polegającego na zmianie fizykochemicznego stanu ciekłego metalu, spowodowanej wprowadzeniem do żeliwa o małej zdolności do grafityzacji na krótko przed jego odlaniem – niewielkich ilości substancji, zwanych modyfikatorami grafityzującymi [7]. Zwiększają one liczbę aktywnych zarodków grafitu i określają dzięki temu strukturę żeliwa, a tym samym jego właściwości użytkowe [1, 7].

Proces produkcji żeliwa modyfikowanego przebiega dwuetapowo.

Etap I. Wytopienie żeliwa wyjściowego do modyfikowania. Musi ono charakteryzować się małą zdolnością do grafityzacji. Osiąga się to przez odpowiedni dobór składu chemicznego żeliwa – przede wszystkim zawartości C i Si w kąpeli metalowej. Skład chemiczny żeliwa wyjściowego oraz zalecany skład metalowych materiałów wsadowych przedstawiono w tab. 8.3 i 8.4. Należy zwrócić uwagę na przestrzeganie związku pomiędzy zawartością C i Si w żeliwie a średnią grubością ścianki produkowanych z niego odlewów [1]. Oceny jakości żeliwa pod kątem jego skłonności do grafityzacji można dokonać za pomocą próby klinowej lub analizy termicznej – metody ATD (patrz dalsza część ćwiczenia).

Tabela 8.3. Żeliwo EN-GJL-250. Zalecany skład chemiczny żeliwa wyjściowego do modyfikacji w zależności od grubości ścianki odlewu [3]

Grubość ścianki odlewu, mm	Skład chemiczny, % mas.				
	C	Si	Mn	P _{max}	S _{max}
do 20	3,0–3,4	1,7–2,1	0,7–1,1	0,2	0,12
20–30	2,9–3,3	1,4–1,9			
30–40	2,9–3,2	1,2–1,6			

Tabela 8.4. Zalecany skład chemiczny wsadu metalowego do wytapiania żeliwa wyjściowego gatunku EN-GJL-250 [3]

Skład wsadu metalowego, % mas.			
surówka		złom	
odlewnicza zwyczajna, bądź hematytowa	przeróbcza	żeliwny obiegowy	stalowy
20–30	10–15	30–35	35–45

Sposób obliczania namiaru wsadowego o masie 100 kg dla cienkościennych (o grubości ścianek poniżej 20 mm) odlewów wykonanych z żeliwa gatunku EN-GJL-250 przedstawia tab. 8.5. Dane niezbędne do obliczenia składu wsadu metalowego zależą każdorazowo od rodzaju i składu chemicznego materiałów, którymi aktualnie dysponuje odlewnia. Przy obliczaniu namiaru wsadowego dla wytopów prowadzonych w piecu indukcyjnym z kwaśną wymurówką przyjmuje się dodatkowo następujące założenia:

- całkowity zgar ciekłego żeliwa wynosi 5%;
- ilość C, P i S w kąpeli metalowej odpowiada ich zawartości we wsadzie;
- Si nie utlenia się w czasie wytopu, ale jego zawartość w kąpeli metalowej może wzrosnąć w przybliżeniu o 0,2% z powodu jego redukcji z wymurówki w okresie przegrzewania ciekłego metalu przed zabiegiem modyfikacji;
- zgar Mn wynosi 20%.

Tabela 8.5. Materiały wsadowe użyte do wytopu i dyspozycja wsadowa dotycząca żeliwa gatunku EN-GJL-250

Materiały wsadowe	Udział		Skład chemiczny, % mas.									
			materiały wsadowe					wsad				
	%	kg	C	Si	Mn	P	S	C	Si	Mn	P	S
Surówka												
Złom żeliwny												
Złom stalowy												
Żelazokrzem												
Żelazomangan												
Razem		100										
Zmiana składu chemicznego w trakcie topienia, % mas.												
Przewidywany skład chemiczny żeliwa, % mas.								3,1	1,9	0,7		

Etap II. Modyfikacja żeliwa wyjściowego. Przed zabiegiem modyfikacji ciekłe żeliwo wymaga wysokiego przegrzania, ponieważ zmniejsza ono liczbę zarodków grafitu oraz powiększa stopień przechłodzenia i prędkość wzrostu eutektyki (obok doboru składu chemicznego jest to drugi czynnik wpływający dodatnio na małą skłonność żeliwa do grafityzacji). Optymalna temperatura przegrzania wynosi 1460–1550°C.

Powszechnie stosowanym modyfikatorem jest żelazokrzem (75% FeSi) z domieszkami Ca i Al, o ziarnistości 0,5–4 mm. Wprowadza się go w ilości 0,6% w stosunku do masy wsadu. Szeroko stosuje się też inne modyfikatory, w tym modyfikatory wieloskładnikowe. Technika wprowadzania modyfikatorów do ciekłego metalu powinna być tak opracowana, aby zapewnić [1, 7]:

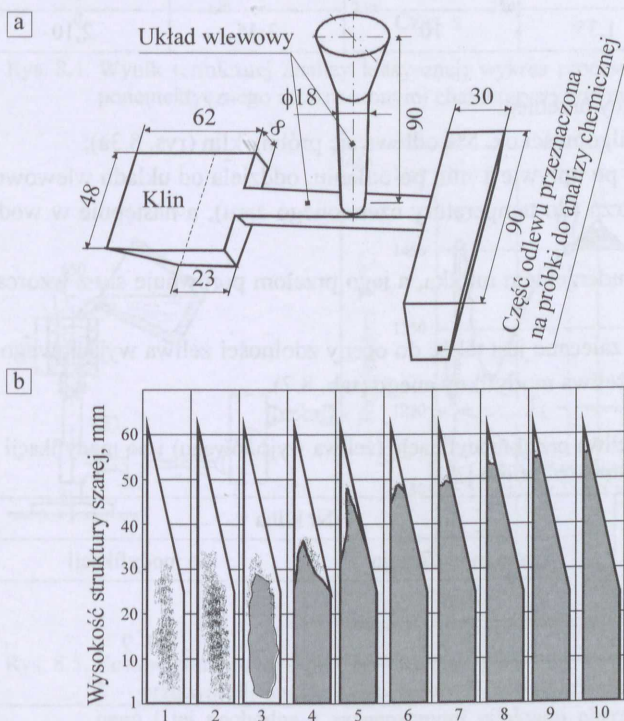
- całkowite rozpuszczenie modyfikatora w ciekłym metalu;
- wprowadzenie go w takim zakresie czasu, aby okres pomiędzy początkiem dodawania modyfikatora do ciekłego metalu a końcem krzepnięcia odlewu był możliwie krótki i nie przekraczał 10–20 min; po tym okresie może następować w ciekłym metalu zanik efektu modyfikacji;

– równomierne rozprowadzanie modyfikatora w całej masie ciekłego metalu.

W przypadku wykonywania odlewów o masie nieprzekraczającej 2 Mg te wymagania mogą być spełnione przez dodawanie modyfikatora do ciekłego żeliwa w efekcie zasypywania go na powierzchnię metalu w trakcie przelewania z pieca do kadzi [3, 4].

Kontrola zdolności żeliwa do grafityzacji. Efektem małej zdolności żeliwa szarego do grafityzacji może być otrzymanie odlewu zabilonego. Zabilenie jest wadą odlewniczą charakteryzującą się tym, że w określonych miejscach odlewu (zwykle w jego najcieńszych przekrojach, np. narożach) występuje struktura żeliwa białego, która utrudnia, a nawet uniemożliwia jego obróbkę skrawaniem. Skłonność żeliwa szarego do zabielenia zależy głównie od jego składu chemicznego, a przede wszystkim zawartości C i Si [1, 2, 7].

W celu zapobiegania otrzymywaniu odlewu zabilonego opracowano kilka metod szybkiej oceny tej skłonności [1], np. próbę klinową (rys. 8.3).



Rys. 8.3. Próba klinowa wg PN-61/H-04675: a) kształt i wymiary próbki klinowej oraz układu wlewowego; b) wzorce przełomów (klinów) wykonane z żeliwa o różnej zawartości C i Si przy zawartości pozostałych pierwiastków (% mas.): Mn $\approx$ 0,6%, S $\approx$ 0,1% (wzorce ułożono wg wzrastającej zawartości C i Si, oznaczając je numerami 1–10, tab. 8.6)

Te metody oparte są na wykorzystaniu wpływu prędkości stygnięcia na ilość grafitu wydzielonego w próbce (zmiany szybkości stygnięcia wraz ze zmianą grubości ścianki) przy określonym składzie chemicznym i określonych warunkach odlewania. Zależność struktury żeliwa od szybkości stygnięcia nazywa się „wrażliwością na szybkość stygnięcia”.

W kraju najbardziej rozpowszechnioną próbą wyznaczania zdolności żeliwa do grafityzacji jest próba łamania klina (próba klinowa) określona przez normę PN-61/H-04675 (*Odlewnictwo – Badania technologiczne żeliwa – Sprawdzanie zdolności żeliwa do grafityzacji*) – rys. 8.3.

Tabela 8.6. Orientacyjna zawartość C i Si w żeliwie wykazującym przełomy odpowiadające klinom o numerach 1–10 [3]

Nr klina	Zawartość, % mas.		Nr klina	Zawartość, % mas.	
	C	Si		C	Si
1	3,15	1,10	6	3,30	1,45
2		1,15	7		1,60
3	3,20	1,20	8	3,35	1,70
4		1,30	9	3,40	1,85
5	3,30	1,35	10	3,45	2,10

Próba klinowa ma następujący przebieg:

- w masie formierskiej o wilgotności ok. 5% odlewa się próbny klin (rys. 8.3a);
- klin wyjmuje się z formy po upływie 1 min po odlaniu, oddziela od układu wlewowego i studzi początkowo na powietrzu (do temperatury czerwonego żaru), a następnie w wodzie o temperaturze 20°C;
- klin łamie się wzdłużnie uderzeniem młotka, a jego przełom porównuje się z wzorcami (rys. 8.3b).

Stosowanie próby klinowej zalecane jest także do oceny zdolności żeliwa wyjściowego do grafityzacji przy wytwarzaniu żeliwa modyfikowanego (tab. 8.7).

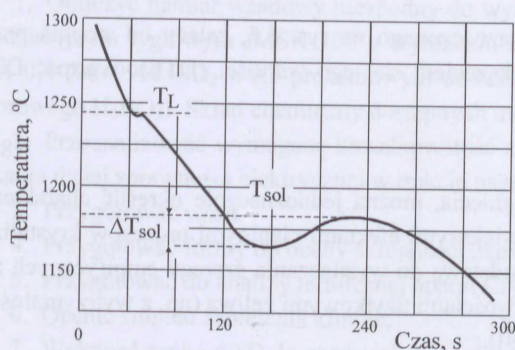
Tabela 8.7. Numery klinów żeliwa przed modyfikacją (żeliwa wyjściowego) i po modyfikacji dla poszczególnych gatunków żeliwa [3]

Gatunek żeliwa	Nr klina	
	przed modyfikacją	po modyfikacji
EN-GJL-250	4–6	7–9
EN-GJL-300	3–5	
EN-GJL-350	1–3	

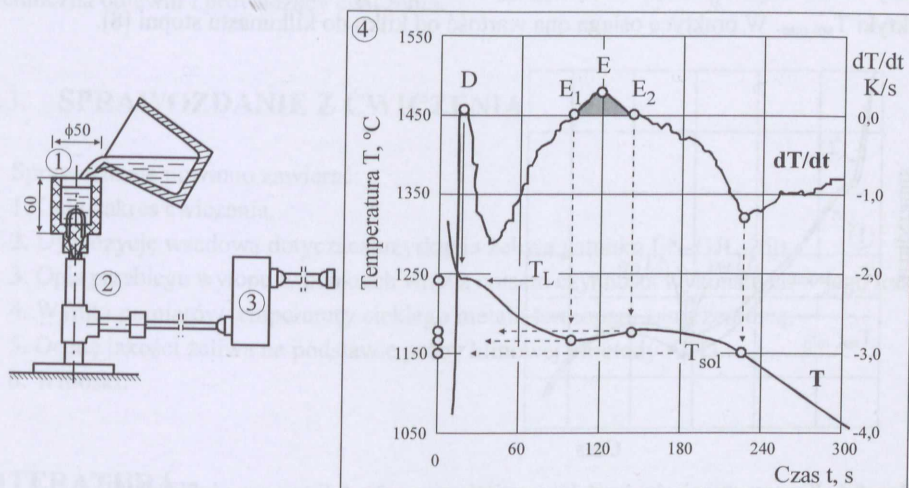
Zastosowanie różniczkowej analizy termicznej do kontroli jakości żeliwa. Analiza termiczna żeliwa, polegająca na rejestracji i analizie przebiegu krzywej jego stygnięcia, znajduje coraz szersze zastosowanie w odlewnictwie. Z punktu widzenia interpretacji wyników pomiarów stosowane są dwie metody analizy [8]:

1. Metoda klasyczna (rys. 8.4) polegająca na rejestracji krzywej stygnięcia i oznaczaniu charakterystycznych jej punktów (położenia linii likwidus (T_L) i solidus (T_{sol}) oraz zakresu krzepnięcia eutektyki (ΔT_{sol})), oznaczaniu na tej podstawie zawartości niektórych składników żeliwa (C, Si), wskaźników składu (S_c i CE) oraz określaniu przewidywanych właściwości mechanicznych.

2. Metoda różniczkowa (ATD) polegająca na równoczesnej rejestracji krzywej stygnięcia ($T = f(t)$) oraz wykreśleniu jej pierwszej ($dT/dt = F(t)$ – rys. 8.5) i ewentualnie drugiej pochodnej.



Rys. 8.4. Wynik termicznej analizy klasycznej; wykres procesu stygnięcia i krystalizacji żeliwa podeutektycznego z zaznaczonymi charakterystycznymi punktami i polami [8]



Rys. 8.5. Zestaw pomiarowy typu Crystaldigrapf [2, 9–11]: 1 – próbnik ATD, 2 – statyw STD-30, 3 – przetwornik analogowo-cyfrowy U/f, 4 – krzywa stygnięcia żeliwa podeutektycznego i jej pochodna z zaznaczonymi punktami charakterystycznymi, zobrazowana na ekranie monitora lub wydrukowana z użyciem drukarki

Krzywa $dT/dt = F(t)$ opisuje kinetykę zmian temperatury w próbce pomiarowej/próbniku (rys. 8.5, 4). Wypadkowa zmiana temperatury w „punkcie” pomiarowym wynika z nakładania się procesu oddawania ciepła do otoczenia i procesu wydzielania się ciepła krystalizacji faz stałych powstających w danym momencie. W przypadku żeliwa podeutektycznego w pierwszym okresie krystalizacji wydzielają się dendryty austenitu. Maksymalna szybkość procesu krystalizacji dendrytycznej, zaznaczona punktem D przez jego rzut na krzywą $T = f(t)$, określa temperaturę likwidus T_L . Natomiast przecięcie krzywej $dT/dt = F(t)$ z osią czasu (dla wartości

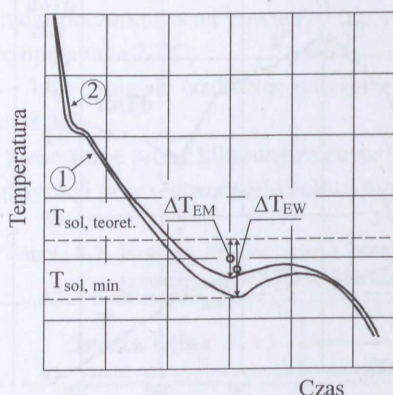
$dT/dt = 0$) w punktach E_1 i E_2 przez ich rzut do przecięcia z krzywą $T = f(t)$ wyznacza minimalną i maksymalną temperaturę krystalizacji eutektyki. W przypadku gdy eutektyka krzepnie w stałej temperaturze, temperaturę $T = f(t)$ T_{sol} wyznacza się przez rzutowanie punktu E do przecięcia z krzywą $T = f(t)$ [9, 10].

Powierzchnia pola E_1EE_2 (w mm^2), zaznaczonego na rys. 8.5, zależy od stopnia przechłodzenia żeliwa i rośnie wraz ze zwiększeniem się jego wartości (DTE). Wartość DTE określa zależność [10]:

$$DTE = 0,15 \cdot (\text{pole pow. } E_1EE_2), \text{ deg} \quad (8.2)$$

Wykorzystując pochodną krzywej stygnięcia, można jednoznacznie określić charakterystyczne punkty przemian związane z największymi efektami cieplnymi procesów krystalizacji. Jednocześnie tak uzyskane dane są podstawą do wyznaczania szeregu empirycznych zależności ujmujących ich związek z właściwościami użytkowymi żeliwa (np. z wytrzymałością na rozciąganie R_m i twardością HB [1, 8, 9]).

Analiza termiczna może również służyć ocenie przydatności żeliwa do modyfikacji przez pomiar jego skłonności do przechłodzenia (rys. 8.6). Miarą przechłodzenia jest różnica pomiędzy równowagową temperaturą $T_{sol \text{ teor}}$ i minimalną temperaturą w okresie krzepnięcia eutektyki $T_{sol \text{ min}}$. W praktyce osiąga ona wartość od kilku do kilkunastu stopni [8].



Rys. 8.6. Krzywe stygnięcia: 1 – żeliwa wyjściowego, 2 – żeliwa po modyfikacji [8]

Żeliwo wyjściowe do modyfikacji (rys. 8.6 – krzywa 1) powinno się charakteryzować dużą skłonnością do przechłodzenia (wartość ΔT_{EW} musi osiągnąć od kilku (8–9°C) do kilkunastu stopni). Wprowadzenie do ciekłego żeliwa modyfikatora tę skłonność obniża (ΔT_{EM} ; rys. 8.6 – krzywa 2). Miarą skuteczności efektu modyfikacji jest wartość współczynnika przechłodzenia eutektycznego $\eta = \Delta T_{EW}/\Delta T_{EM}$. Wartość η powinna być większa od 1, przy czym gdy zawiera się w przedziale 1,5–2,5, jest najkorzystniejsza [8, 10].

8.2. PRZEBIEG ĆWICZENIA

W trakcie ćwiczenia należy kolejno:

1. Obliczyć namiar wsadowy niezbędny do wytopu żeliwa gatunku EN-GJL-250 w piecu indukcyjnym tyglowym IMSK-100 o wyłożeniu kwaśnym, wykonanym z masy Silica Mix 7A 0,4 (98–99% SiO_2 z 0,5-procentowym dodatkiem środka spiekającego w postaci kwasu borowego H_3BO_3). Skład chemiczny dostępnych materiałów wsadowych podaje prowadzący.
2. Przeanalizować wymaganą kawałkowatość zastosowanych materiałów pod kątem użytkowania dużej sprawności elektrycznej w trakcie nagrzewania wsadu.
3. Przygotować wsad.
4. Przygotować formy do oceny skłonności żeliwa do grafityzacji.
5. Przygotować do analizy termicznej aparat Crystaldigraf.
6. Ocenic stopień zabielenia klinów.
7. Wykonać próbę ATD do oceny jakości żeliwa.

Uwaga! Wszystkie czynności związane z załadowaniem wsadu do pieca, pomiarami temperatury ciekłego metalu, topieniem i zalewaniem form ciekłym metalem wykonuje obsługa techniczna odlewni i prowadzący ćwiczenia.

8.3. SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Cel i zakres ćwiczenia.
2. Dyspozycję wsadową dotyczącą uzyskania żeliwa gatunku EN-GJL-250.
3. Opis przebiegu wytopu w punktach wraz z opisem czynności wykonanych w jego trakcie.
4. Wyniki pomiarów temperatury ciekłego metalu termoparą zanurzeniową.
5. Ocenę jakości żeliwa na podstawie próby klinowej i metody ATD.
6. Wnioski.

LITERATURA

- [1] PODRZUCKI C.: *Żeliwo – struktura, własności, zastosowanie*. Kraków, Wydaw. STOP, 1991.
- [2] PERZYK M., WASZKIEWICZ S., KACZOROWSKI M., JOPKIEWICZ A.: *Odlewnictwo*. Warszawa, WNT, 2000.
- [3] *Poradnik inżyniera. Odlewnictwo*. Warszawa, WNT, 1986.
- [4] *Wybrane procesy odlewnicze – laboratorium*. Red. M. Cholewa. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej, 2008.
- [5] PODRZUCKI C., SZOPA J.: *Piece i urządzenia metalurgiczne stosowane w odlewnictwie*. Katowice, Wydaw. „Śląsk”, 1982.
- [6] GWIŹDŹ A., JAŚKOWIEC K., PIROWSKI Z., KUDER M.: *Eksplotacja i obsługa pieców indukcyjnych tyglowych. Topienie żeliwa i staliwa. Materiały szkoleniowe*. Kraków, Instytut Odlewnictwa, 2011.
- [7] FRAŚ E., PODRZUCKI C.: *Żeliwo modyfikowane*. Skrypt nr 675. Kraków, Wydaw. AGH, 1978.

- [8] ZYCH J.: *Analiza wad odlewów; wybrane zagadnienia – laboratorium*. Skrypt nr 1623. Kraków, Wydaw. AGH, 2001.
- [9] JURA S., SAKWA J., BOREK K.: *Analiza termiczna i różniczkowa krzepnięcia i krystalizacji żeliwa. Przegląd Odlewnictwa* 1980, nr 1, s. 7.
- [10] FAŁĘCKI Z., FRANCAK K.: *Odlewnictwo żeliwa – wybrane zagadnienia*. Skrypt AGH nr 890. Kraków, Wydaw. AGH 1982.
- [11] BRASZCZYŃSKI J.: *Krystalizacja odlewów*. Warszawa, WNT, 1991.

Ćwiczenie 9

WŁAŚCIWOŚCI TECHNOLOGICZNO-ODLEWNICZE SILUMINÓW

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z:

- klasyfikacją odlewniczych stopów Al wg PN-EN 1706:2011,
- procesem topienia siluminów,
- właściwościami technologiczno-odlewniczymi siluminów i sposobami ich oceny.

9.1. WPROWADZENIE

Siluminy to odlewnicze stopy aluminium z krzemem oraz innymi dodatkami stopowymi. Na podstawie układu równowagi wykresu Al–Si dzieli się je na: podeutektyczne (4–10% Si), okołoeutektyczne (10–13% Si) i nadeutektyczne (17–26% Si) [1–7].

Norma PN-EN 1706: 2010 (*Aluminium i stopy aluminium. Odlewy. Skład chemiczny i właściwości mechaniczne*) klasyfikuje następujące grupy siluminów: AlSi7Mg, AlSi10Mg, AlSi, AlSi5Cu, AlSi9Cu, AlSi(Cu) oraz AlSiCuNiMg. Wskazane w niej stopy mają zarówno oznaczenia numeryczne, jak i nawiązujące do ich składu chemicznego.

Oznaczenia stopów z grupy AlSi (siluminów okołoeutektycznych) oraz ich skład chemiczny przedstawia tab. 9.1.

Tabela 9.1. Oznaczenia i orientacyjny skład chemiczny (% mas.) stopów z grupy AlSi (PN-EN 1706:2011)

Oznaczenie		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Zn
numeryczne	na podstawie symboli chemicznych							
EN AC-44000	EN AC-Al Si11	10,0–11,8	0,19	0,05	0,10	0,45	–	0,07
EN AC-44100	EN AC-Al Si12(b)	10,5–13,5	0,65	0,15	0,55	0,10	0,10	0,15
EN AC-44200	EN AC-Al Si12(a)		0,55	0,05	0,35	–	–	0,10
EN AC-44300	EN AC-Al Si12(Fe)(a)		1,0	0,10	0,55	–	0,05	0,15
EN AC-44400	EN AC-Al Si9	8,0–11,0	0,65		0,50	0,10	–	
EN AC-44500	EN AC-Al Si12(Fe)(b)	10,5–13,5	1,0	0,20	0,55	0,40	–	0,30

Jeżeli nie wskazuje się zakresu zawartości danego pierwiastka, to podana wartość liczbową określa jego zawartość maksymalną.

Siluminy są najbardziej rozpowszechnionymi stopami wśród stopów aluminium stosowanych w odlewnictwie. Odlewy z nich wykonywane są wykorzystywane w różnych gałęziach przemysłu: maszynowego, motoryzacyjnego, gospodarstwa domowego, precyzyjno-optycznego i lotniczego. Popularność tej grupy stopów konstrukcyjnych wynika z ich bardzo dobrych cech fizycznych i mechanicznych: małej gęstości, stosunkowo niskiej temperatury topnienia, dużego przewodnictwa cieplnego i elektrycznego, odpowiednich właściwości mechanicznych i odlewniczych, dobrej obrabialności i znacznej odporności na korozję [1–8].

Topienie stopów aluminium ogranicza się w warunkach krajowych zwykle do przetapiania gąsek stopów sporządzanych w zakładach hutniczych oraz uzupełniania niektórych składników stopowych. Do topienia stosuje się głównie piece płomienne (w tym tyglowe opalane gazem) i elektryczne (oporowe, indukcyjne). Stopy aluminium odlewa się do form piaskowych, w kokilach i pod ciśnieniem [1–8].

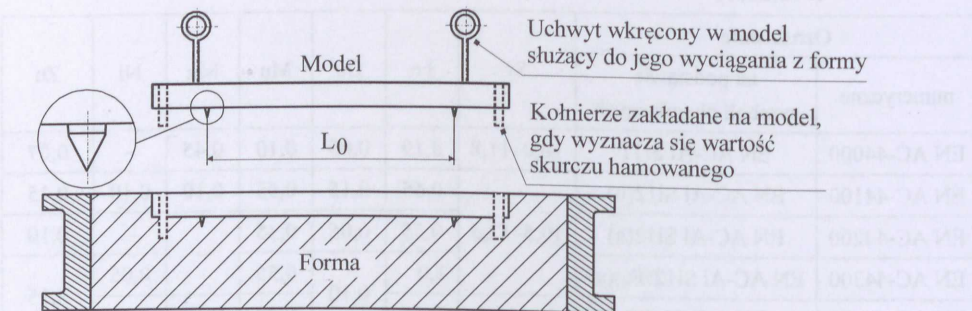
Ciekły metal, w przypadku wytwarzania odlewanych części maszyn i urządzeń, opisuje zespół cech (właściwości technologiczno-odlewniczych), których znajomość gwarantuje wytworzenie odlewu o wymaganej jakości [4–6]. Zalicza się do nich:

- skurcz odlewniczy;
- lejność;
- skłonność do tworzenia w odlewach: rzadzisz i jam skurczowych, naprężeń odlewniczych i pęknięć, pęcherzy gazowych, wtrąceń niemetalicznych, segregacji i odpowiedniej mikrostruktury.

Skurcz odlewniczy. Pojęcie to określa zmniejszenie wymiarów odlewu w porównaniu z wymiarami modelu, wyrażone w procentach.

Zmiana objętości odlewu jest spowodowana skurczem podczas stygnięcia w stanie ciekłym, podczas krzepnięcia i stygnięcia w stanie stałym. Na poszczególne etapy skurczu mają wpływ następujące czynniki: skład chemiczny stopu, prędkość chłodzenia, temperatura przegrzania i odlewania oraz hamowanie skurczu. Skurcz jest hamowany cieplnie, mechanicznie lub cieplnie i mechanicznie [2, 3, 9].

Najprostszą próbę technologiczną pozwalającą na wyznaczenie wartości skurczu odlewniczego przedstawiono na rys. 9.1.



Rys. 9.1. Model i forma odlewnicza do oceny skurczu liniowego stopu odlewanego w formie piaskowej [9]

Na modelu pręta (np. o przekroju kwadratu) umieszczone są dwa występy w odległości L_0 . Po odtworzeniu kształtu modelu w masie formierskiej uzyskuje się wnękę formy, którą to wnękę następnie wypełnia się ciekłym metalem. Po zakrzepnięciu i ostygnięciu odlewu wybija się go z formy i mierzy odległość między występami (L_1). Wartość skurczu S wyznacza się z zależności:

$$S = (L_0 - L_1)/L_0 \cdot 100\% \quad (9.1)$$

Otrzymana wartość skurczu określa tzw. skurcz swobodny. Uzupełnienie modelu o kołnierze (rys. 9.1) pozwala również na wyznaczenie wartości skurczu hamowanego. Jest ona zawsze mniejsza od wartości skurczu swobodnego, ponieważ w tym przypadku uwzględnia się w większym stopniu oddziaływanie dwóch zjawisk na wartość S : oporu formy odlewniczej i nierównomiernego stygnięcia odlewu.

Pełniejszą informację o skurczu odlewniczym badanego stopu można otrzymać, badając wpływ temperatury zalewania formy czy średnicy pręta na jego wartość.

Lejność. Jest to zdolność ciekłego metalu do wypełniania wnęki formy i do dokładnego odtworzenia jej kształtu. Ta właściwość ciekłego metalu zależy od wielu czynników związanych z [9]:

1. Rodzajem zastosowanego metalu, przede wszystkim z jego składem chemicznym, który decyduje o: temperaturze początku krzepnięcia stopu, zakresie temperatury krzepnięcia, cieple właściwym, przewodności cieplnej oraz pojemności cieplnej stopu, napięciu powierzchniowym, rodzaju tlenków i innych wtrąceń niemetalicznych tworzących się na strudze metalu i w jej objętości.

2. Rodzajem i budową użytej formy odlewniczej (jakość jej powierzchni, temperatura, ukształtowanie wnęki, ciśnienie metalostatyczne, właściwości materiałów formierskich użytych do jej wykonania).

3. Warunkami odlewania (temperatura odlewania stopu, stopień jego przegrzania czy prędkość i czas zalewania).

Lejność ciekłego metalu wyznacza się trzema metodami [9]:

1. Metodą polegającą na zahamowaniu ruchu metalu we wnęcie formy o zwiężającym się przekroju. Hamowanie przepływu metalu następuje wskutek jego krzepnięcia oraz działania sił napięcia międzyfazowego. Miarą lejności jest długość wnęki formy zapełnionej metalem.

2. Metodą, w której zahamowanie płynięcia metalu następuje pod wpływem jego krzepnięcia w wąskiej wnęcie formy o określonej długości. Miarą lejności jest masa metalu, który z niej wypłynął.

3. Metodą, w której wykorzystuje się zjawisko zahamowania płynięcia ciekłego metalu we wnęcie formy o stałym przekroju. Miarą lejności jest długość zapełnionej wnęki.

Do wyznaczania lejności metalu najczęściej stosuje się metody należące do trzeciej grupy, a wśród nich próbę typu spiralnego (rys. 9.2).

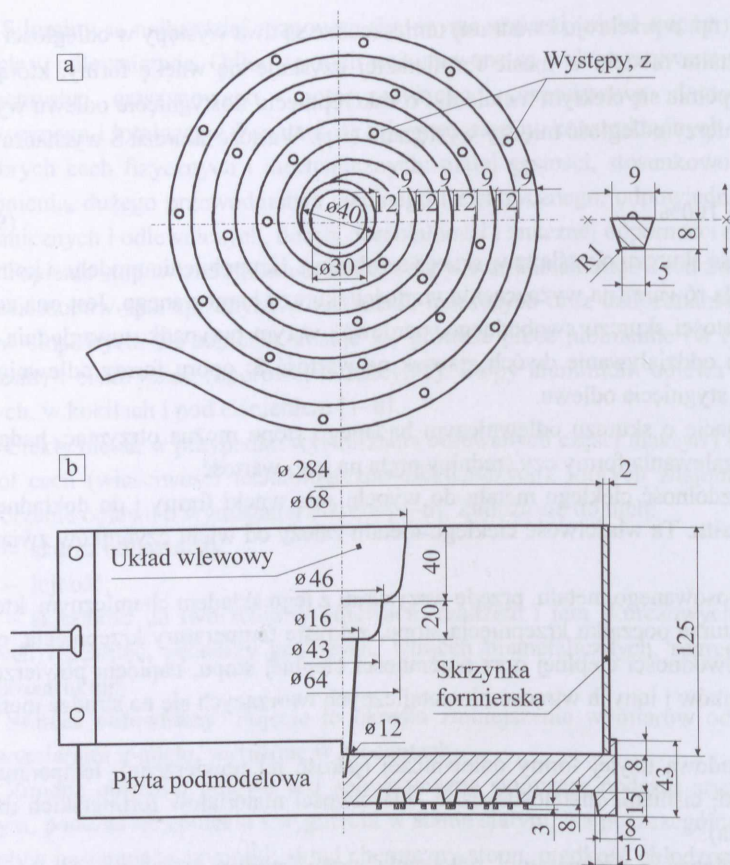
Lejność badanego stopu L oblicza się wg wzoru:

$$L = z \cdot 50, \text{ mm} \quad (9.2)$$

gdzie:

z – liczba dokładnie odtworzonych występow na spirali,

50 – odległość między występami, mm.



Rys. 9.2. Próba spiralna do wyznaczania lejności stopów odlewniczych (BN-80/4051-17):
a) kształt i wymiary próby; b) zespół modelowy i skrzynka formierska

Podobnie jak w próbie skurczu liniowego, pełniejszą informację o lejności badanego stopu można otrzymać przez wyznaczenie wpływu temperatury zalewania formy czy stopnia przegrzania ciekłego metalu na jej wartość.

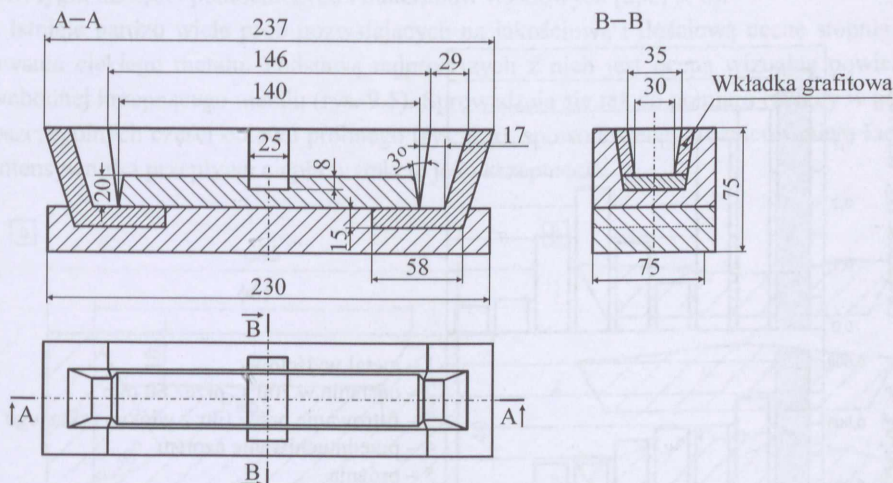
Spiralna próba lejności stosowana dla stopów Al wykonywana jest zwykle w formie piaskowej wilgotnej (wilgotność masy formierskiej do 5%) używanej w danej odlewni, ale również w formach grafitowych, skorupowych lub kokilach o regulowanej temperaturze [2].

Oprócz wielu zalet siluminy charakteryzują się istotnymi wadami. Należą do nich:

1. Skłonność do pochłaniania gazów (przede wszystkim wodoru) w stanie ciekłym, co w konsekwencji prowadzi do porowatości odlewów i skutkuje obniżeniem ich właściwości użytkowych (np. szczelności, odporności na ścieranie, skrawalności itd.).
2. Tworzenie gruboziarnistej struktury, zdecydowanie pogarszającej właściwości mechaniczne odlewów.

Skłonność do tworzenia pęknięć. Pęknięcia na gorąco podczas krzepnięcia odlewu powstają wtedy, gdy kryształy fazy stałej nie są w dostatecznym stopniu połączone; niewielkie

hamowanie skurczu doprowadza do pęknięcia. Ten rodzaj pęknięć powstaje, gdy stop wykazuje szeroki zakres temperatury krzepnięcia, a kształt odlewu sprawia, że pewne jego obszary krzepną z mniejszą prędkością niż inne, co jest przyczyną powstawania w nich naprężeń. Do określania skłonności stopów Al do pęknięć na gorąco stosuje się próbkę odlaną do formy metalowej, pokazaną na rys. 9.3.



Rys. 9.3. Forma metalowa do oceny skłonności do pęknięć na gorąco [9]

Dwie wnęki umieszczone na końcach próbki uniemożliwiają jej skurcz swobodny, a wkładka grafitowa znajdująca się w środku formy, tworząc przewężenie, lokalizuje pęknięcie.

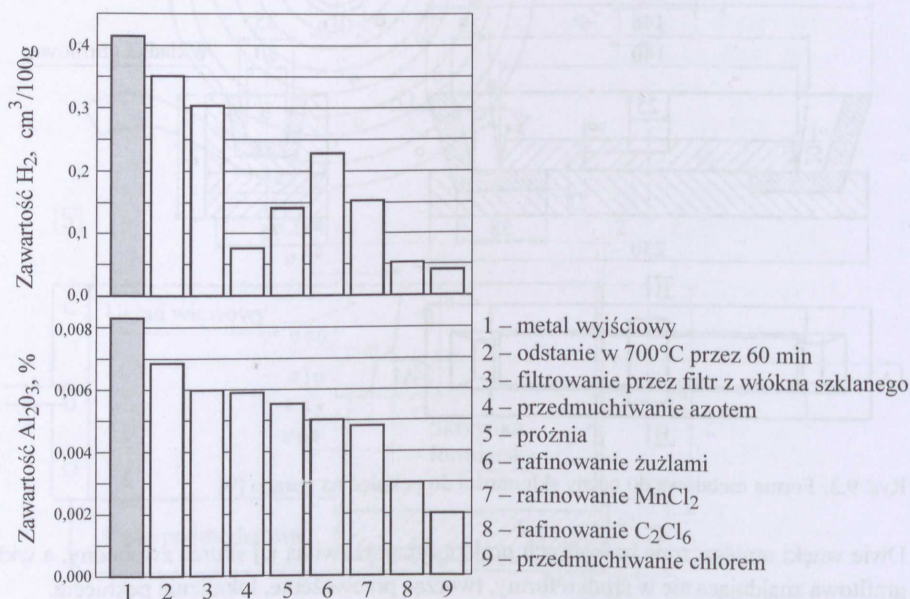
W celu ograniczenia lub eliminowania tych niekorzystnych dla właściwości odlewów procesów prowadzi się na ciekłym metalu zabiegi rafinacji i modyfikacji.

Rafinacja siluminów. Polega na usuwaniu z ciekłego stopu wodoru oraz zanieczyszczeń tlenkowych. Metody rafinacji dzieli się na fizyczne i chemiczne. Pierwsze z nich wykorzystują wpływ takich czynników jak: temperatura, ciśnienie, ruch ciekłego metalu itp. Istotą drugich jest wywołanie w ciekłym metalu reakcji chemicznych między zanieczyszczeniami a rafinatorami i pokierowanie nimi w taki sposób, aby utworzyły się związki, które można łatwo oddzielić od ciekłego stopu (np. gazy nierozpuszczalne w metalu lub żużlu) [1–8]. Do rafinacji stosuje się próżnię, ciśnienie, związki chemiczne, gazy obojętne i ich mieszaniny oraz różnego rodzaju filtry, w tym filtry ceramiczne. Przyszłościowe metody polegają na użyciu w procesie rafinacji zmiennego pola magnetycznego, ultradźwięków i infradźwięków. Przykłady stosowanych metod rafinacji i ich skuteczność przedstawiono na rys. 9.4.

Do rafinacji gazowej stopów Al stosuje się przede wszystkim gazy obojętne, takie jak azot (rafinacja fizyczna) i chlor (rafinacja chemiczna i fizyczna). Przedmuchiwanie tymi gazami kąpieli metalowej daje zwykle najlepszy efekt (rys. 9.4). Mechanizm rafinacji gazowej polega na wykorzystaniu prawa Daltona. W myśl tego prawa gaz rozprzestrzenia się w objętości zajętej przez inny gaz tak jak w próżni. Wobec faktu, że stężenie wodoru w gazie rafinującym

jest praktycznie bliskie zera, wodór rozpuszczony w ciekłym stopie będzie dyfundował do pęcherzyków azotu i wraz z nim uchodził do atmosfery.

W przypadku rafinacji chlorem proces przebiega wg reakcji:



Rys. 9.4. Skuteczność oddziaływania różnych metod rafinacji ciekłego Al [1]

Po zastosowaniu żużli rafinujących, w skład których wchodzi najczęściej sześciochloroetan C₂Cl₆, w ciekłym metalu zachodzi następująca reakcja:

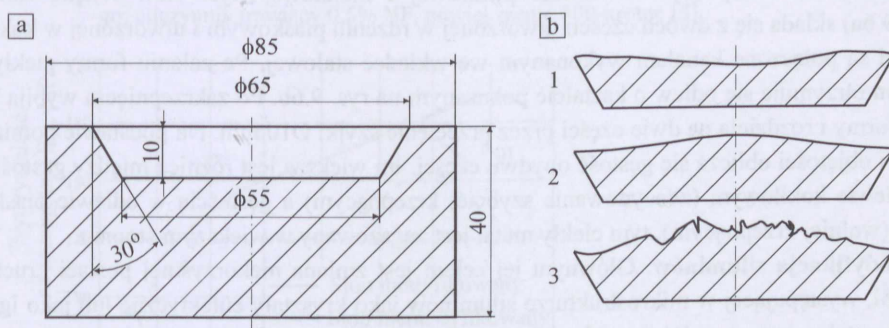


Powstający AlCl₃ działa podobnie jak przedmuchiwanie kąpieli chlorem. Zastosowanie w procesie rafinacji chloru bądź jego związków jest bardzo efektywne (rys. 9.4), ale uciążliwe dla środowiska [1–3], dlatego ta technologia wymaga ścisłej kontroli emisji chloru. Niekiedy wykorzystuje się rafinujące mieszanki gazów, tj. N₂ i CO z niewielkimi dodatkami chloru [1–3].

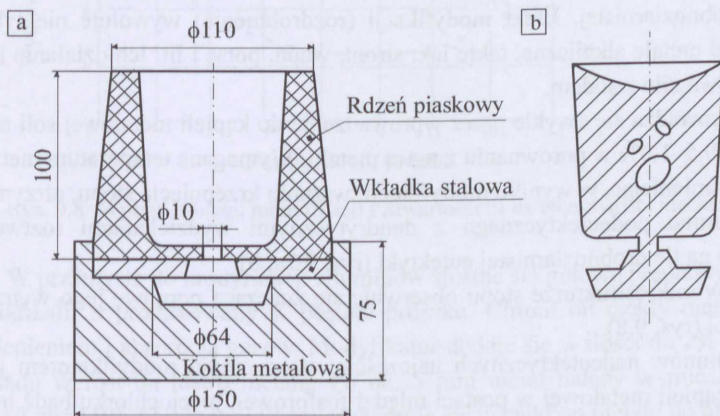
W przemyśle odlewniczym do rafinacji używa się zwykle gotowych preparatów firmowych. W kraju są to m.in. następujące topniki: Rafal 1 (zawierający do 98,5% C₂Cl₆) i Rafal 4 (zawierający 85–93% C₂Cl₆) lub Degasolit 61. Dla przykładu Rafal 1, produkowany w postaci pastylek o masie 50 g, wprowadza się do ciekłego metalu za pomocą dzwonu w ilości 0,3–0,5% masowych wsadu. Rafinację przeprowadza się w temperaturze 670–700°C przez 5–10 min [10].

Niezależnie od przeprowadzonego zabiegu rafinacji ciekłego metalu środki zapobiegające nadmiernemu zagazowaniu stopu sprowadzają się do ograniczenia jego kontaktu z wszelkimi źródłami wodoru, stosowania odpowiednich topników pokrywających (izolujących odkrytą powierzchnię metalu od otaczającej atmosfery), a także unikania nadmiernego przegrzewania stopów powyżej właściwej dla nich temperatury odlewania oraz stosowania suchych topników, tygli, narzędzi pomocniczych i materiałów wsadowych [2, 3, 5, 6].

Istnieje bardzo wiele prób pozwalających na jakościową i ilościową ocenę stopnia zagazowania ciekłego metalu. Podstawą najprostszych z nich jest ocena wizualna powierzchni swobodnej krzepnącego metalu (rys. 9.5). Sprowadzają się też do pomiaru różnicy w gęstości poszczególnych części odlewu próbnego (rys. 9.6), spowodowanej zróżnicowaniem kierunku i intensywności przepływu ciepła w trakcie jego krzepnięcia.



Rys. 9.5. Ocena stopnia zagazowania stopów Al – próba pęcherzykowa [8]: a) kokila grafitowa do odlewania próbek; b) przekrój odlanej próbki o różnym stopniu zagazowania: 1 – małym, 2 – średnim, 3 – dużym



Rys. 9.6. Próbką do pomiaru gęstości [8]: a) forma do odlewania próbek; b) przekrój odlewu z widocznym meniskiem wklęsłym i jamą skurczową

Pierwsza próba polega na obserwacji pęcherzyków i/lub nakłuc tworzących się na górnej powierzchni krzepnącego stopu. Do otwartej formy grafitowej (rys. 9.5a) o temperaturze

100–200°C wlewa się metal, zgarnia zanieczyszczenia z jego powierzchni jeszcze przed zakrzepnięciem i obserwuje się ją w czasie krzepnięcia. Ilość pęcherzyków pojawiających się na powierzchni, a po skrzepnięciu również nakłuć, jest w pewnym przybliżeniu miarą stopnia zagazowania. Rodzaj menisku, jaki utworzył się na swobodnej powierzchni odlewu po zakrzepnięciu, także informuje o stopniu zagazowania metalu. Jeśli utworzy się menisk wklęsły (obciągnięcie na powierzchni – rys. 9.5b, 1), można uznać, że metal nie jest zagazowany i nadaje się do zalewania form. Menisk wypukły (rys. 9.5b, 2) świadczy, że proces rafinacji nie został przeprowadzony poprawnie i należy go powtórzyć (metal o średniej zawartości gazów). Menisk wypukły o porowatej „wygotowanej” powierzchni (rys. 9.5b, 3) jest charakterystyczny dla metalu nierafinowanego, zagazowanego w bardzo dużym stopniu.

Stopień zagazowania można również stosunkowo szybko ocenić, porównując gęstość stopu w odlewie krzepnącym w formie piaskowej i metalowej (rys. 9.6). Wnęka formy (rys. 9.6a) składa się z dwóch części: utworzonej w rdzeniu piaskowym i utworzonej w kokili. Wnęki są połączone kanałem wykonanym we wkładce stalowej. Po zalaniu formy ciekłym stopem otrzymuje się odlew o kształcie pokazanym na rys. 9.6b. Po zakrzepnięciu wybija się go z formy i rozdziela na dwie części przez przecięcie szyjki $\varnothing 10$ mm. Na podstawie pomiaru masy i objętości oblicza się gęstość obydwu części. Im większa jest różnica między gęstością w odlewie kokilowym (zdecydowanie szybciej krzepnącym) a gęstością w odlewie piaskowym (wolniej krzepnącym), tym ciekły metal jest zagazowany w większym stopniu.

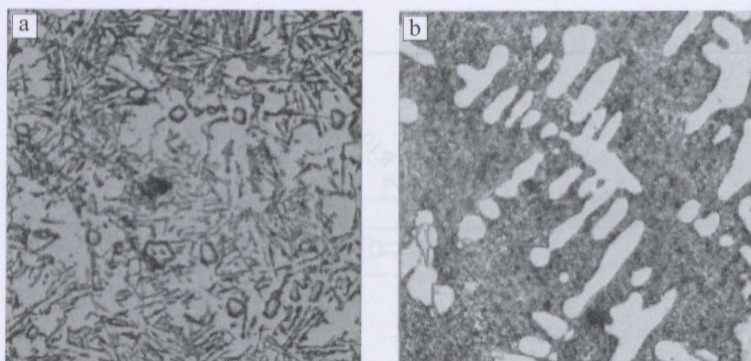
Modyfikacja siluminów. Głównym jej celem jest zmiana niekorzystnej postaci kruchej fazy Si, występującej w mikrostrukturze siluminów jako kryształy eutektyczne lub jako iglaste kryształy pierwotne. W stopach pod- i okołoeutektycznym osiągnięcie tego celu wymaga zastosowania innych metod niż w stopach nadeutektycznych.

Modyfikacja pod- i okołoeutektycznych siluminów polega na wprowadzaniu do ciekłego stopu niewielkiej ilości sodu lub jego soli dla uzyskania, niezależnie od szybkości chłodzenia odlewu, struktury drobnoziarnistej. Efekt modyfikacji (rozdrobnienia) wywołuje nie tylko sód, ale również i inne metale alkaliczne, takie jak: stront, wapń, potas i lit. Ich działanie jest jednak słabsze w porównaniu z sodem.

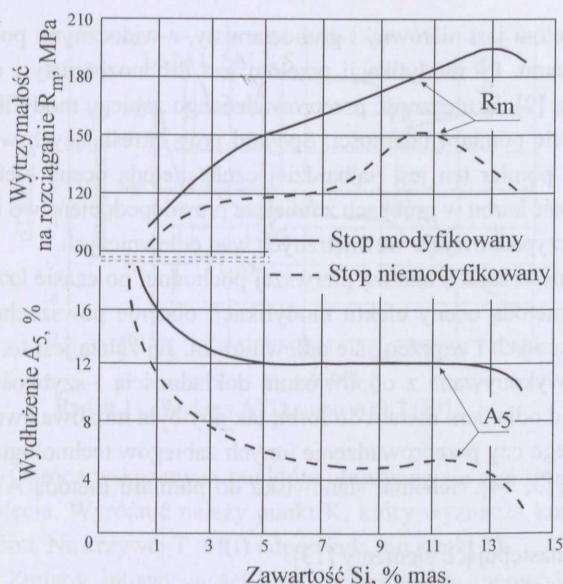
Modyfikację przeprowadza się zwykle przez wprowadzenie do kąpeli metalowej soli modyfikujących w ilości 0,5–1,0% w porównaniu z masą metalu. Wymagana temperatura metalu to 710–750°C [1, 4]. Zmieniając, w wyniku modyfikacji, warunki krzepnięcia stopu, otrzymuje się strukturę siluminu podeutektycznego z dendrytycznymi wydzieleniami roztworu α (ubogiego w krzem) na tle drobnoziarnistej eutektyki (rys. 9.7a, b).

W wyniku zmian w mikrostrukturze stopu obserwuje się znaczącą poprawę jego wytrzymałości i plastyczności (rys. 9.8).

W przypadku siluminów nadeutektycznych najczęściej stosowanym modyfikatorem jest fosfor dodawany do kąpeli metalowej w postaci miedzi fosforowej, pięciochlorku bądź tróchlorku fosforu, a także mieszaniny fosforu czerwonego i soli potasowej [1–6]. W wyniku prawidłowej modyfikacji siluminów nadeutektycznych uzyskuje się znaczne rozdrobnienie pierwotnych kryształów krzemu i związane z tym polepszenie skrawalności odlewów, co jest głównym celem tego procesu. Towarzyszy temu również poprawa właściwości odlewniczych (lejności) stopu oraz niewielki wzrost jego właściwości wytrzymałościowych [1–8].



Rys. 9.7. Mikrostruktura siluminu okołoeutektycznego: a) niemodyfikowanego; b) modyfikowanego; odczynnik trawiący 0,5% HF, powiększenie 100-krotne [5]

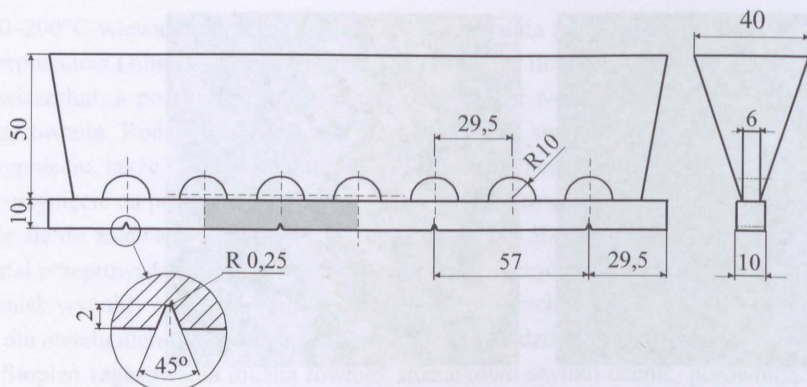


Rys. 9.8. Wpływ zabiegu modyfikacji i zawartości Si na właściwości mechaniczne siluminu [1]

W przemyśle do modyfikacji siluminów stosuje się gotowe preparaty. W kraju jest nim np. Modikalit S produkowany w postaci proszku. Chroni on ciekły metal jednocześnie przed utlenieniem i absorpcją gazów. Modyfikator dodaje się w ilości do 2% w porównaniu z masą wsadu wprost na lustro metalu. Po ok. 5 min metal należy wymieszać i odczekać dalsze 5–10 min [10]. Efekt modyfikacji utrzymuje się w ciekłym metalu do ok. 40 min.

Do szybkich i prostych metod oceny efektu modyfikacji zalicza się próbę przełomu. Do jej przeprowadzenia można wykorzystać próbkę uderzeniową odlaną na gotowo (rys. 9.9).

Próbkę odlewa się w formie piaskowej, a po ostygnięciu odlewu odcina się próbki uderzeniowe na przecinarce. Po przełamaniu próbki w miejscu karbu dokonuje się oceny makroskopowej charakteru przełomu.



Rys. 9.9. Kształt i wymiary odlewu do wykonywania próbek uderzeniowych na gotowo [11]

Przy braku efektu modyfikacji przełom jest nierówny i gruboziarnisty, z widocznymi polyskującymi, iglastymi kryształami krzemu. Po modyfikacji przełom jest drobnoziarnisty i ma różową, matową powierzchnię [9]. Skuteczność przeprowadzonego zabiegu modyfikacji można również ocenić na podstawie pomiaru uderzeniowości. Spośród prób określających właściwości mechaniczne metali/stopów pomiar ten jest najbardziej czułą metodą oceny efektu procesu modyfikacji stopu [1]. Obecność karbu w próbkach zmniejsza prawdopodobieństwo ich pęknięcia w miejscach występowania przypadkowych, wewnętrznych wad odlewniczych.

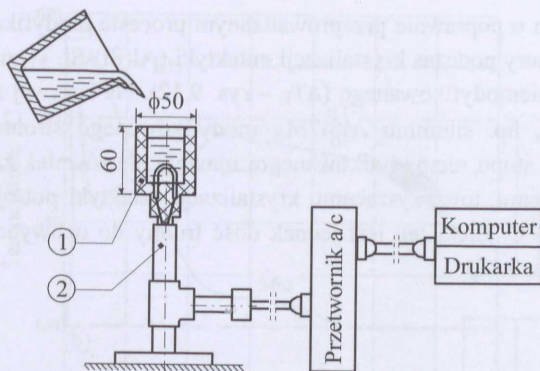
Analiza termiczna (metoda AT) poszerzona o analizę pierwszej pochodnej po czasie krzywej termicznej (metoda ATD) jest metodą oceny efektu modyfikacji obecnie powszechnie stosowaną w wielu instytucjach naukowych i w przemyśle odlewniczym. Jej zaletą jest to, że ocena jakości ciekłego metalu jest wykonywana z odpowiednią dokładnością i szybkością oraz w dobrym momencie, czyli przed odlaniem metalu do form, tak aby była możliwa ewentualna korekta jego składu chemicznego czy przeprowadzenie innych zabiegów technologicznych podwyższających jego jakość [13, 14]. Schemat stanowiska do pomiaru metodą ATD przedstawiono na rys. 9.10.

Każdy zestaw wyposażony jest w następujące elementy [13]:

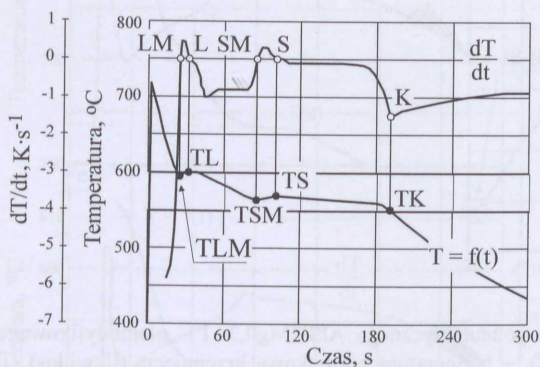
- próbnik pomiarowy z czujnikiem temperatury;
- wzmacniacz sygnału z czujnika i moduł umożliwiający określenie pochodnej temperatury po czasie;
- układ rejestracji i prezentacji danych.

Wyniki pomiarów analizy termicznej i/oraz derywacyjnej procesu stygnięcia stopów Al przedstawiono na rys. 9.11–9.13.

Wykres (rys. 9.11) składa się z dwóch krzywych: krzywej krzepnięcia ($T = f(t)$) oraz krzywej krystalizacji ($T' = dT/dt = f(t)$) będącej pochodną krzywej stygnięcia. Krzywą dT/dt wyznacza się w sposób matematyczny równocześnie z pomiarem temperatury. Najbardziej charakterystycznymi punktami krzywej dT/dt są punkty przegięcia z osią zerową: LM, L, SM i S (rys. 9.11). Punkty te, odniesione na krzywą stygnięcia, wyznaczają: TL i TS – „stabilną” temperaturę likwidus i solidus krzepnącego stopu oraz TLM i TSM – metastabilną temperaturę tych samych przemian jako temperaturę maksymalnego przechłodzenia.



Rys. 9.10. Schemat zestawu pomiarowego typu Crystaldigraph [11–13]: 1 – próbnik ATD10, 2 – statyw STD-30



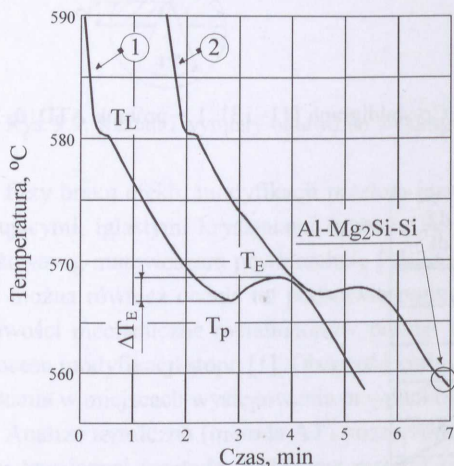
Rys. 9.11. Wykres ATD stopu AlSi7 [13]

Oprócz wskazanych punktów obserwuje się maksima i minima lokalne na pochodnej stygnięcia. Wyróżnić należy punkt K, który wyznacza koniec procesu krzepnięcia/kryształizacji stopu. Na krzywej $T = f(t)$ odpowiada mu punkt TK.

Zmiany intensywności wydzielania ciepła, spowodowane krystalizacją i zachodzącymi przemianami fazowymi, uwidocznione są na krzywej stygnięcia (jej charakterystyczny kształt, a zwłaszcza załamania lub odcinki przystankowe, umożliwiające identyfikację tych przemian i wyznaczanie odpowiadającej im temperatury [13–15]). W przypadku siluminów podeutektycznych i eutektycznych wykorzystanie analizy AT do oceny efektu modyfikacji polega głównie na określeniu stopnia przechłodzenia podczas krystalizacji eutektyki (rys. 9.11).

Modyfikacja siluminów powoduje zmiany przebiegu krystalizacji pierwotnej oraz obniża temperaturę eutektyczną stopu [13]. Wartość obniżenia temperatury eutektycznej, nazwanego depresją (przechłodzeniem), wykorzystuje się wprost do oceny efektu modyfikacji. Dla siluminów podeutektycznych (zawierających ok. 8% Si) maksymalna wartość przechłodzenia może wynieść 11°C, a dla siluminów eutektycznych 9°C [1].

Drugim wskaźnikiem informującym o poprawnie przeprowadzonym procesie modyfikacji stopu jest zanik rekalescencji temperatury podczas krystalizacji eutektyki (Al(Si)-Si, sygnalizowany na krzywej stygnięcia stopu niemodyfikowanego (ΔT_E – rys. 9.12). Na krzywej stygnięcia siluminów podeutektycznych, np. siluminu AlSi7Mg modyfikowanego strontem, w odróżnieniu od krzywej dotyczącej stopu niemodyfikowanego, ujawnia się również załamanie odpowiadające efektowi cieplnemu, towarzyszącemu krystalizacji eutektyki potrójnej Al-Mg₂Si-Si w temperaturze ok. 558°C. Efekt ten jest jednak dość trudny do uchwycenia metodą zwykłej analizy termicznej (rys. 9.12).



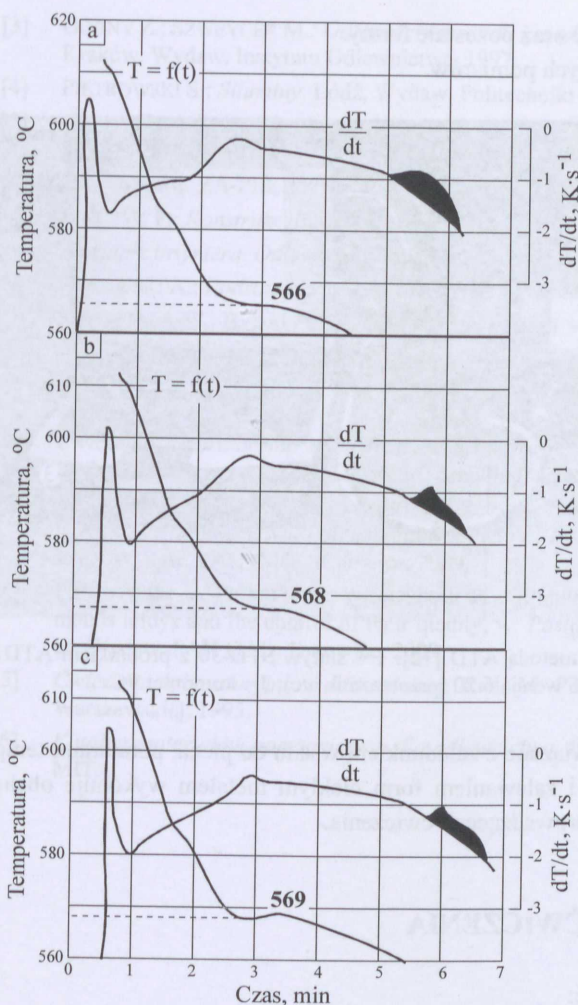
Rys. 9.12. Krzywe stygnięcia siluminu podeutektycznego AlSi7Mg0,3: 1 – niemodyfikowanego, 2 – modyfikowanego [5]; T_L – temperatura początkowa krzepnięcia (likwidus), T_E – maksymalna temperatura podczas przemiany eutektycznej, T_p – minimalna temperatura na początkowym etapie krystalizacji eutektyki α (Al)-Si w stopie niemodyfikowanym, ΔT_E – stopień rekalescencji temperatury (przechłodzenie)

Uzupełnienie metody o analizę różniczkowej krzywej chłodzenia (metoda ATD) poprawia możliwości interpretacji wyniku pomiaru. Zmiany przebiegu funkcji, nieznaczne w przypadku krzywych chłodzenia, będą wyraźniejsze dla krzywych różniczkowych. Na przykład dodanie śladowych ilości fosforu podczas modyfikacji siluminu będzie sygnalizowane zauważalnymi zmianami w przebiegu krzywych różniczkowych (rys. 9.13).

9.2. PRZEBIEG ĆWICZENIA

W trakcie ćwiczenia należy kolejno:

1. Przygotować wsad ze złomu odlewów z siluminu EN AC-44200 (PN-EN 1706: 2011) zgodnie ze wskazówkami prowadzącego, roztopić metal w piecu, a następnie przegrzać go do temperatury 750°C, kontrolując jej wartość z użyciem przenośnego miernika temperatury DL-IV firmy Heraeus.



Rys. 9.13. Wpływ modyfikacji fosforem na przebieg krzywej stygnięcia i jej pierwszej pochodnej dla stopu AlSi7Mg0,6; zawartość P zwiększa się w kolejnych próbach ($a < b < c$) [2]

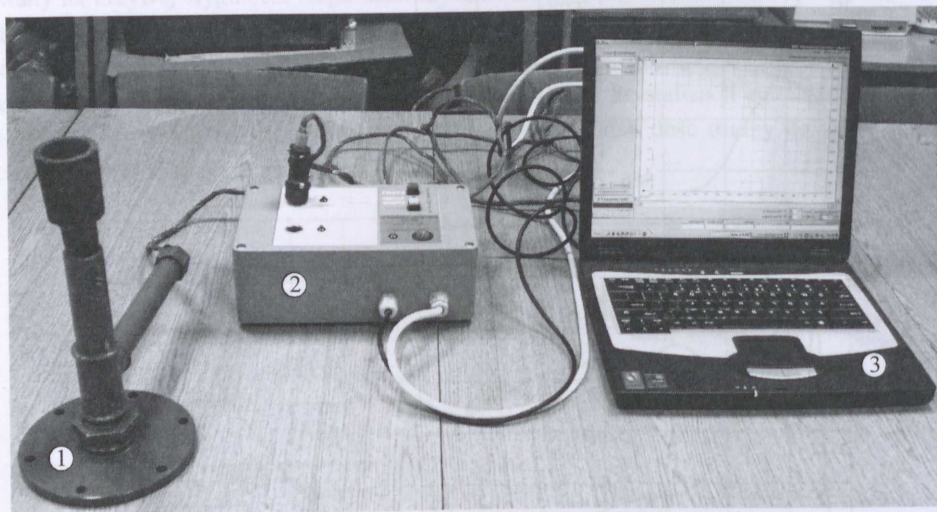
2. Przygotować aparat Crystaldigraph (rys. 9.14) i formy do oceny stopnia zagazowania oraz oceny gęstości, a także do badań przełomu.

3. Zalać metalem próbnik ATD10 (rys. 9.14) i przygotowane formy.

4. Utrzymując temperaturę metalu na poziomie 750°C, przeprowadzić zabieg rafinacji i modyfikacji stopu. W tym celu należy:

- odważyć porcję proszku Modikalit S [16] w ilości 2% do masy wsadu,
- zgarnąć żużel z powierzchni metalu specjalną zgarniaczką,
- wsypać proszek na lustro metalu, a po 5 min wymieszać kąpiel metalową,
- odczekać ok. 10 min i ponownie zgarnąć żużel,
- skontrolować temperaturę metalu i w razie konieczności skorygować ją do 750°C.

5. Zalać metalem próbnik ATD10 oraz pozostałe formy.
6. Ocenic wyniki przeprowadzonych pomiarów.



Rys. 9.14. Stanowisko do pomiaru metodą ATD [12]: 1 – statyw STD-30 z próbnikiem ATD10, 2 – Crystaldigraph NT-2T wersja 6.20 (przetwornik a/c), 3 – komputer PC

Uwaga! Wszystkie czynności związane z załadunkiem wsadu do pieca, pomiarami temperatury ciekłego metalu, topieniem i zalewaniem form ciekłym metalem wykonuje obsługa techniczna odlewni pod nadzorem prowadzącego ćwiczenia.

9.3. SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Cel i zakres ćwiczenia.
2. Krótki opis przeprowadzonych prób technologicznych, w tym:
 - szkice otrzymanych odlewów i rysunki przełomów,
 - wykresy ATD z opisanymi punktami charakterystycznymi,
 - zestawienie wyników pomiarów oraz ich analizę.
3. Wnioski.

LITERATURA

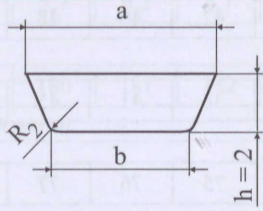
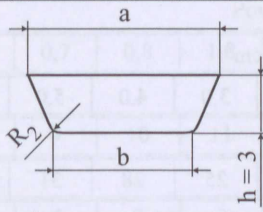
- [1] WASILEWSKI P.: *Siluminy – modyfikacja i jej wpływ na strukturę i właściwości*. Monografia nr 21. Katowice, Wydaw. PAN Oddz. Katowice, 1993.
- [2] GÓRNY Z.: *Przygotowanie ciekłego metalu. Ocena właściwości ciekłego metalu*. T. 2, cz. 4. Kraków, Wydaw. Instytutu Odlewnictwa, 1995.

- [3] GÓRNY Z., SZWEYCKER M.: *Odlewnictwo metali i stopów. Przygotowanie ciekłego metalu*. T. 2. Kraków, Wydaw. Instytutu Odlewnictwa, 1997.
- [4] PIETROWSKI S.: *Siluminy*. Łódź, Wydaw. Politechniki Łódzkiej, 2001.
- [5] GÓRNY Z.: *Odlewnicze stopy metali nieżelaznych*. Warszawa, WNT, 1992.
- [6] GÓRNY Z., SOBCZAK J.: *Nowoczesne tworzywa odlewnicze na bazie metali nieżelaznych*. Kraków, Wydaw. ZA-PIS, 2005.
- [7] BIŃCZYK F.: *Konstrukcyjne stopy odlewnicze*. Gliwice, Wydaw. Politechniki Śląskiej, 2003.
- [8] *Poradnik inżyniera. Odlewnictwo*. Warszawa, WNT, 1986.
- [9] KOSOWSKI A.: *Podstawy odlewnictwa*. Kraków, Wydaw. AKAPIT, 2008.
- [10] BYDALEK A.W., BYDALEK A.: *Podstawy metalurgii w odlewniczych procesach rafinacyjnych*. Zielona Góra, Wydaw. Uniwersytetu Zielonogórskiego, 2007.
- [11] PIEKARSKI B.: *Ćwiczenia laboratoryjne z odlewnictwa*. Szczecin, Wydaw. Politechniki Szczecińskiej, 2006.
- [12] *Ćwiczenia laboratoryjne z materiałów metalicznych*. Red. B. Piekarski. Szczecin, Wydaw. Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, 2013.
- [13] CHOLEWA M., JURA Z., STUDNICKI A.: *Rozwój metody analizy termicznej i derywacyjnej w Katedrze Odlewnictwa Politechniki Śląskiej*, w: *Postęp teorii i praktyki odlewniczej*. Katowice, Wydaw. PAN-Oddz. Katowice, 2009.
- [14] PIETROWSKI S., PISAREK B., WŁADYSIAK R., GUMIENNY G., SZYMCHAK T.: *TDA curves of metals alloys and the control of their quality*, w: *Postęp teorii i praktyki odlewniczej*. Katowice, Wydaw. PAN Oddz. Katowice, 2009.
- [15] *Ćwiczenia laboratoryjne z odlewnictwa*. Red. M. Perzyk. Warszawa, Wydaw. Politechniki Warszawskiej, 1995.
- [16] *Katalog materiałów pomocniczych dla odlewnictwa*, firmy PEDMO S.A. i CONSTAN THERMIT.

Załącznik A

KSZTAŁT I WYMIARY ELEMENTÓW UKŁADU WLEWOWEGO (PN-H-54231. ODLEWNICZE ZESPOŁY MODELOWE. ELEMENTY UKŁADÓW WLEWOWYCH)

Tabela A.1. Wlew doprowadzający niski trapezowy

					Oznaczenie na rysunku							
UKŁAD WLEWOWY – PN-H-54231-WDnt ¹⁾												
Powierzchnia przekroju wlewu F _{WDnt} , cm ²												
0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	–	–	–	–	–
a, mm												
12	16	21	26	31	36	41	46	–	–	–	–	–
b, mm												
10	14	19	24	29	34	39	44	–	–	–	–	–
Nr wlewu												
1	2	3	4	5	6	7	8	–	–	–	–	–
					Oznaczenie na rysunku							
UKŁAD WLEWOWY – PN-H-54231-WDnt ¹⁾												
Powierzchnia przekroju wlewu F _{WDnt} , cm ²												
0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	–
a, mm												
15	18	21	25	28	31	35	38	41	48	55	61	–
b, mm												
12	16	19	22	25	29	32	25	39	45	52	59	–
Nr wlewu												
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	–

¹⁾ Nr wlewu.

¹⁾ Nr wlewu.

Tabela A.2. Wlew doprowadzający wysoki trapezowy

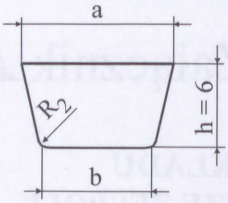
					Oznaczenie na rysunku						
UKŁAD WLEWOWY – PN-H-54231-WDwt ¹⁾											
Powierzchnia przekroju wlewu F _{WDwt} , cm ²											
1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
a, mm											
18	20	22	25	28	32	35	38	42	46	48	52
b, mm											
15	17	19	22	25	28	31	35	38	41	45	48
Nr wlewu											
67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
¹⁾ Nr wlewu.											

Tabela A.3. Wlew doprowadzający trójkątny

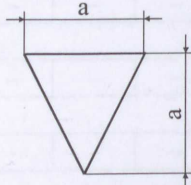
					Oznaczenie na rysunku						
UKŁAD WLEWOWY – PN-H-54231-WDt ¹⁾											
Powierzchnia przekroju wlewu F _{WDt} , cm ²											
0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
a, mm											
10	11	12	14	17	14	20	22	25	28	31	35
Nr wlewu											
158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169
¹⁾ Nr wlewu.											

Tabela A.4. Wlew doprowadzający półokrągły

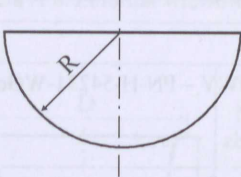
				Oznaczenie na rysunku							
				UKŁAD WLEWOWY – PN-H-54231-WDp ¹⁾							
Powierzchnia przekroju wlewu F _{WDp} , cm ²											
0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8
R, mm											
5,3	5,7	6,2	6,7	7,2	7,6	8,0	8,4	8,7	9,4	10,1	10,7
Nr wlewu											
179	180	181	182	183	184	185	186	187	189	190	191
¹⁾ Nr wlewu.											

Tabela A.5. Wlew rozprowadzający trapezowy

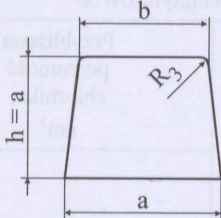
	Oznaczenie na rysunku										
UKŁAD WLEWOWY – PN-H-54231-WRt ¹⁾											
Powierzchnia przekroju wlewu F _{WRt} , cm ²											
0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
a, mm											
8	9	10	11	12	14	15	16	18	21	23	26
b, mm											
5	6	7	8	9	10	12	13	15	18	20	21
Nr wlewu											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
¹⁾ Nr wlewu.											

Tabela A.6. Wlew główny okrągły przy długości l=600 mm

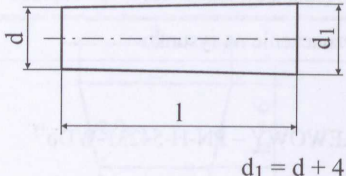
													Oznaczenie na rysunku
UKŁAD WLEWOWY – PN-H-54231-WGo ¹⁾													
Powierzchnia przekroju wlewu F _{WGo} , cm ²													
0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,5	2,0	2,4	2,6	3,0	4,0	5,0		
d, mm													
7	8	9	10	11	14	16	17	18	20	22	25		
Nr wlewu													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
¹⁾ Nr wlewu.													

Tabela A.7. Zbiornik wlewowy czaszowy

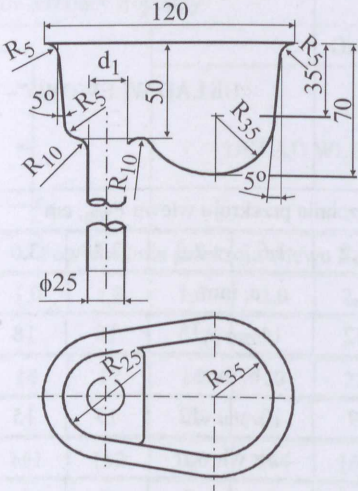
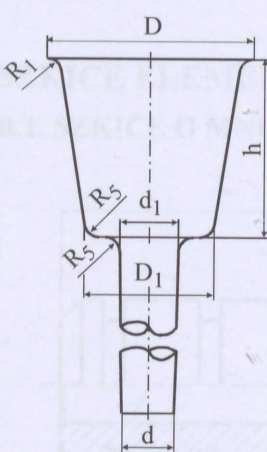
Zbiornik wlewowy czaszowy z wlewem głównym okrągłym ZWco		
Numer zbiornika		Przybliżona pojemność zbiornika, cm ³
1		714
Uwaga: średnica d ₁ zbiornika wg tab. A6.		

Tabela A.8. Zbiornik wlewowy stożkowy

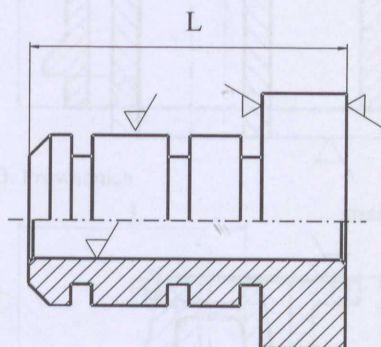
Zbiornik wlewowy stożkowy ZWs							
	Numer zbiornika	Średnica wlewu głównego d	D	D ₁	h	R ₁	Przybliżona pojemność zbiornika, cm ³
	mm						
	22	11	50	30	50	5	64
	23	16	60	40	60		119
	24	20	70	50	70		200
	25	25	80	60	80	10	310
	26	32	90	70	90		454
	27	36	100	80	100	15	639
	28	40	110	90	110		866

Uwaga: średnica d₁ zbiorników wg tab. A6.

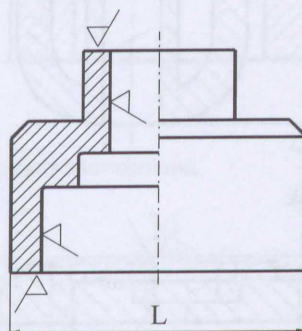
Załącznik B

SZKICE ELEMENTÓW ODLEWANYCH

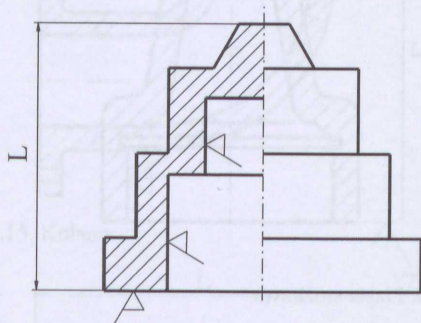
B.1. SZKICE O MNIEJSZYM STOPNIU TRUDNOŚCI



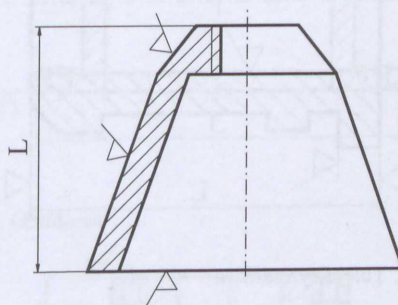
B.1. Króciec



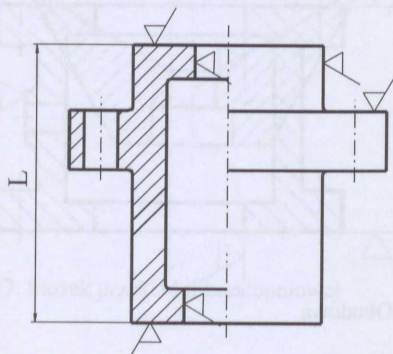
B.2. Tuleja stopniowana



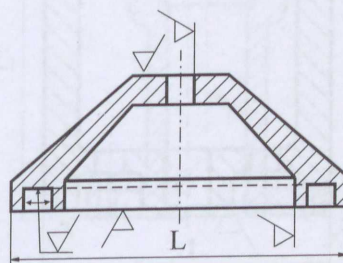
B.3. Podstawa



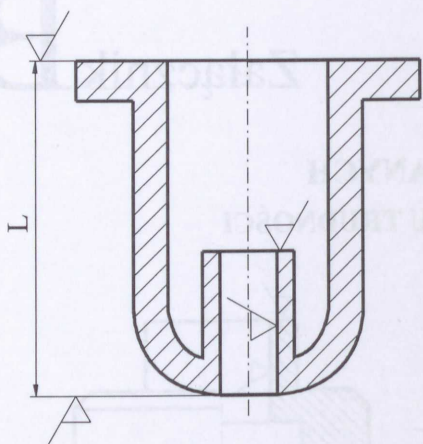
B.4. Stożek ustalający



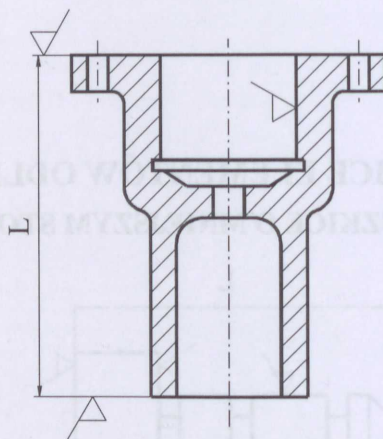
B.5. Prowadnica kołnierzowa



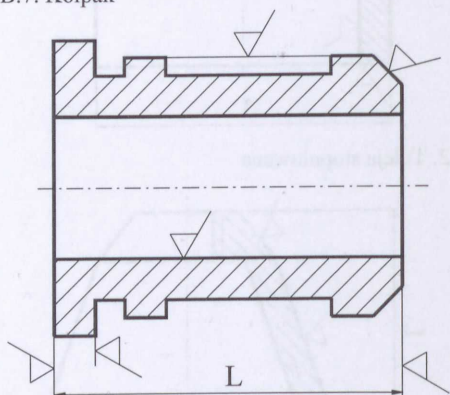
B.6. Osłona uszczelniająca



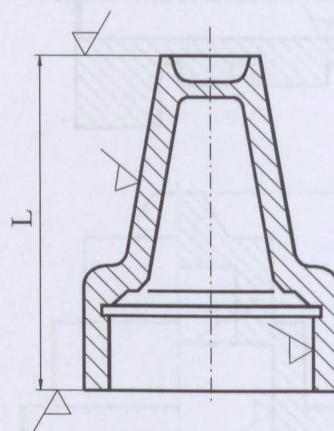
B.7. Kolpak



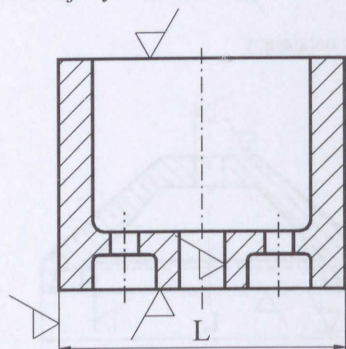
B.8. Piasta



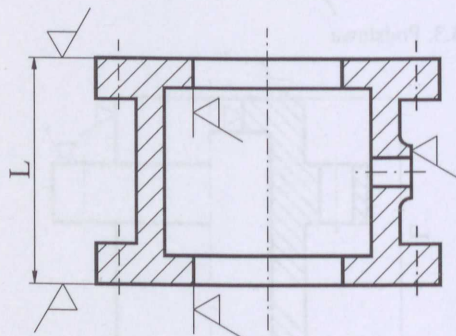
B.9. Tuleja cylindrowa



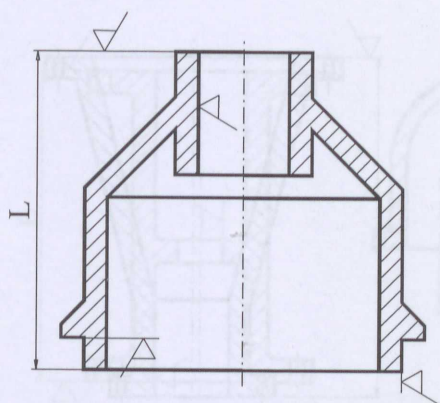
B.10. Piasta stożkowa



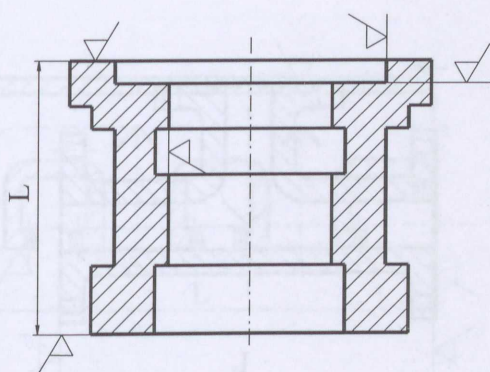
B.11. Koło pasowe



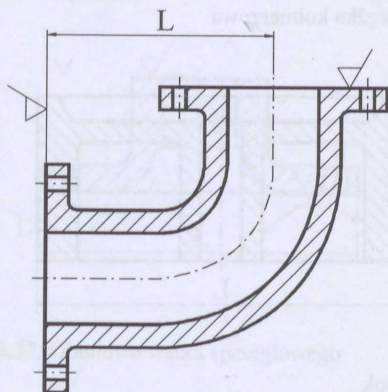
B.12. Obudowa



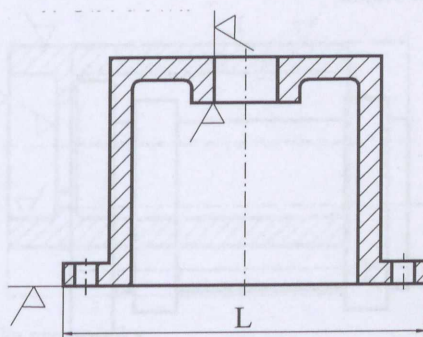
B.13. Prowadnica



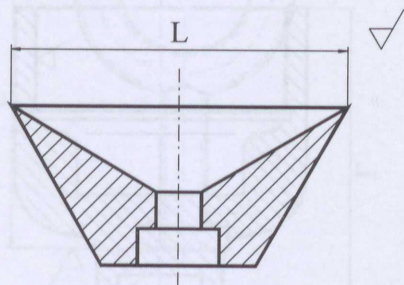
B.14. Tuleja wielostopniowa



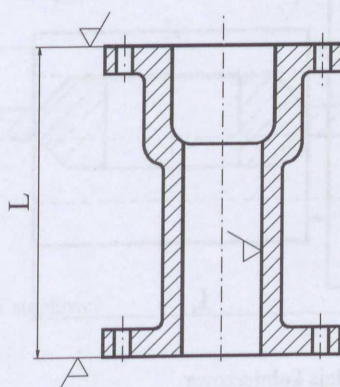
B.15. Kolano



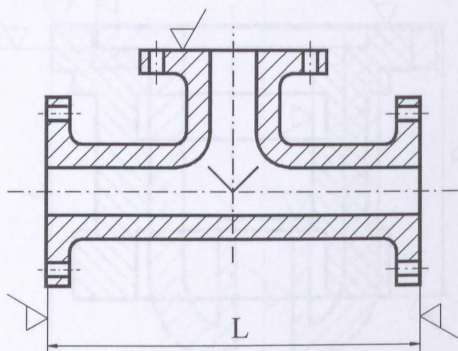
B.16. Obudowa



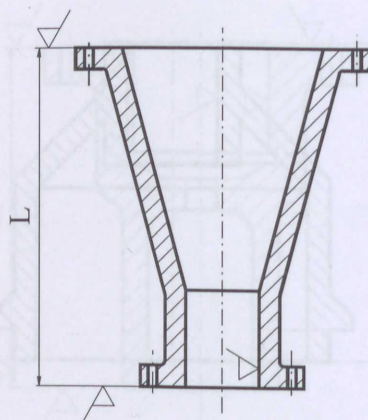
B.17. Stożek przekładni bezstopniowej



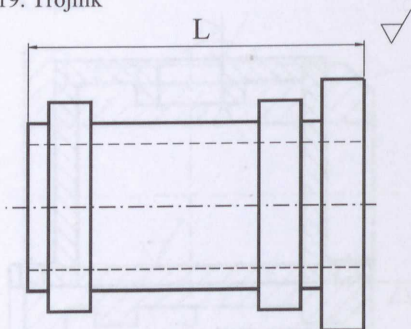
B.18. Łącznik prowadzący



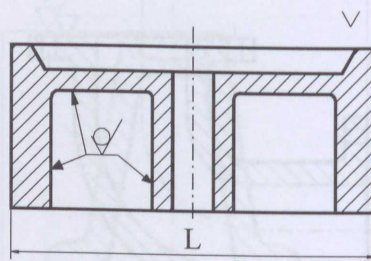
B.19. Trójkąt



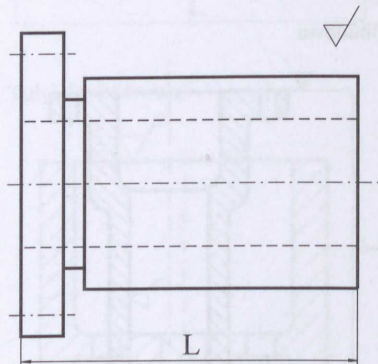
B.20. Zwężka kołnierзова



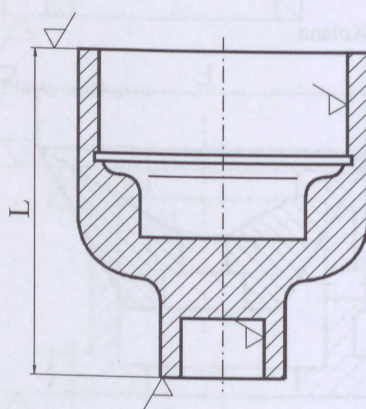
B.21. Tuleja



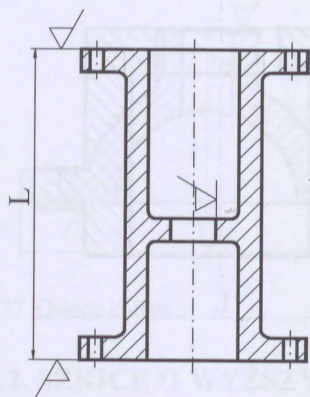
B.22. Tłok



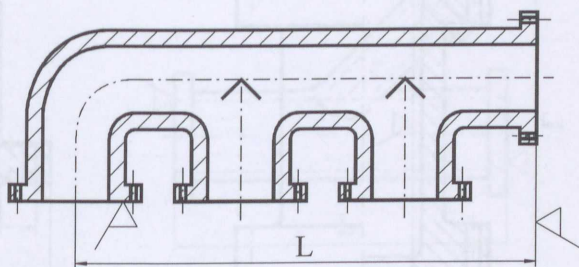
B.23. Tuleja kołnierзова



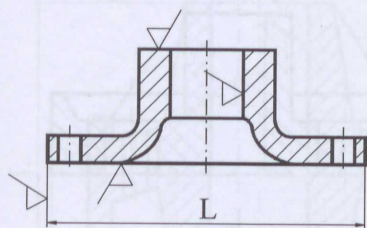
B.24. Piasta



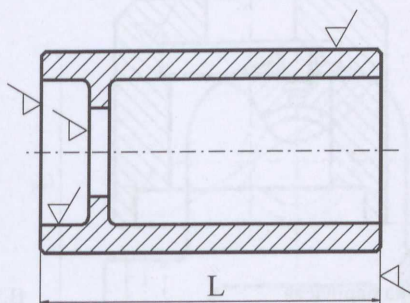
B.25. Łącznik



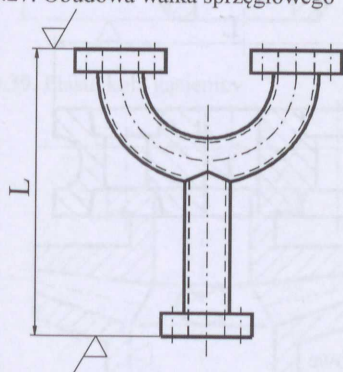
B.26. Kolektor wydechowy



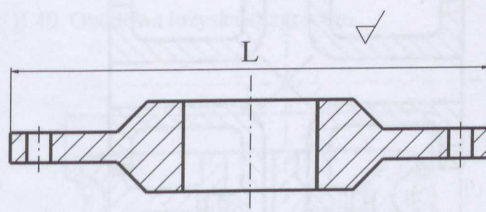
B.27. Obudowa wałka sprzęgłowego



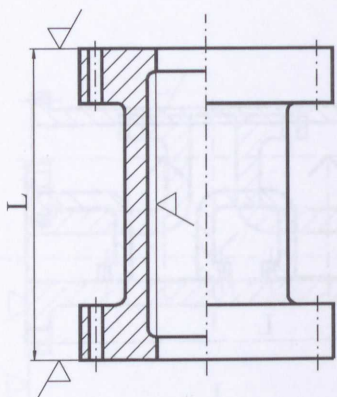
B.28. Rolka przenośnika



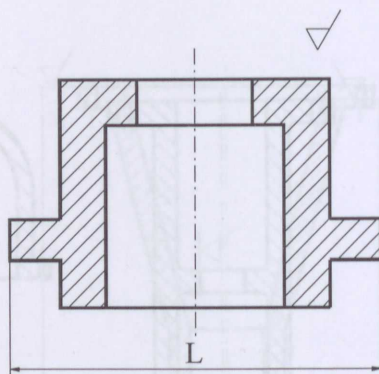
B.29. Trójkąt



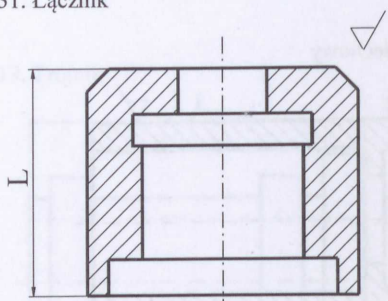
B.30. Łącznik stożkowy



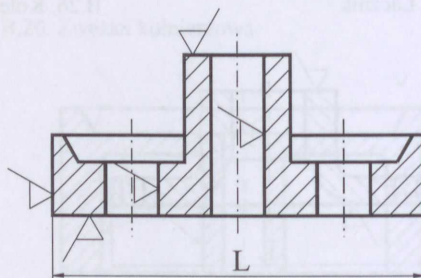
B.31. Łącznik



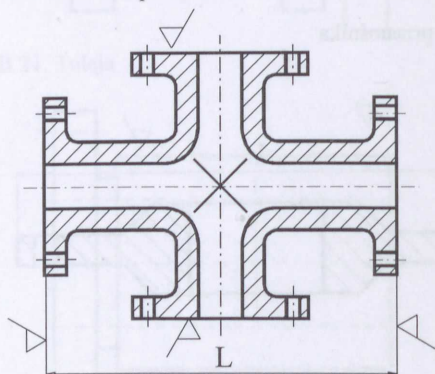
B.32. Osłona



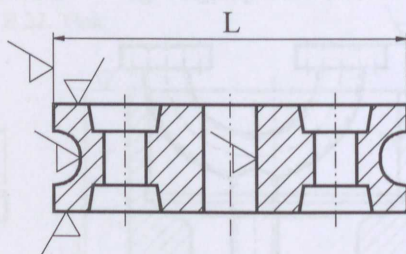
B.33. Rolka napinacza



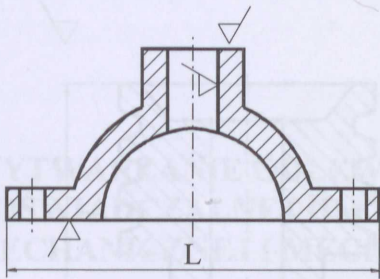
B.34. Korpus sprzęgła podatnego



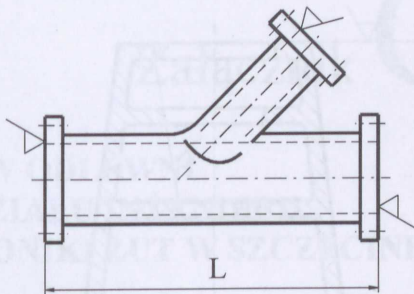
B.35. Czwórník rurowy



B.36. Koło linowe

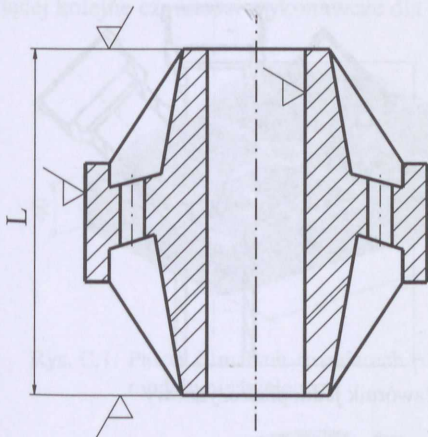


B.37. Osłona kulista

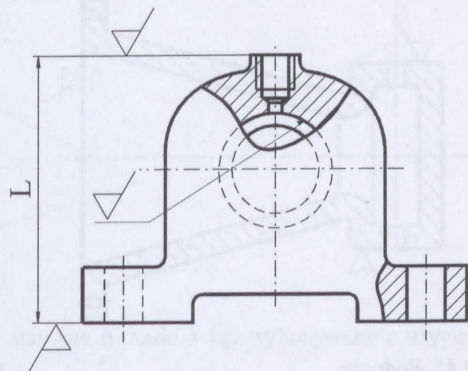


B.38. Trójnik rurowy

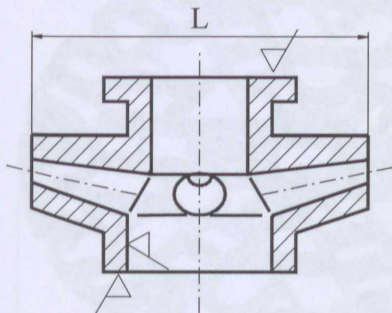
B.2. SZKICE O WYŻSZYM STOPNIU TRUDNOŚCI



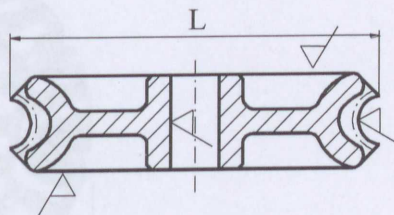
B.39. Piasta koła gaśnicy



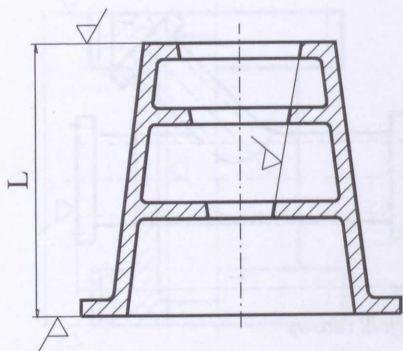
B.40. Obudowa łożyska ślizgowego



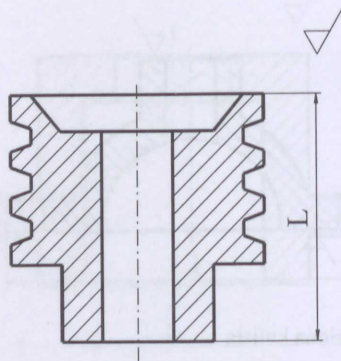
B.41. Tryskacz



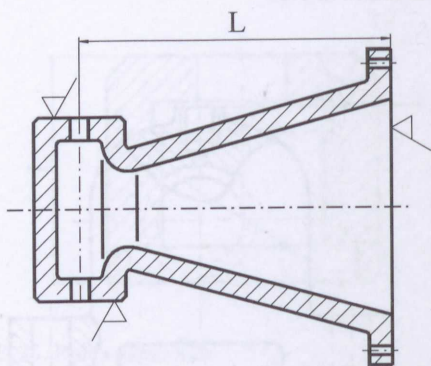
B.42. Ślimacznica



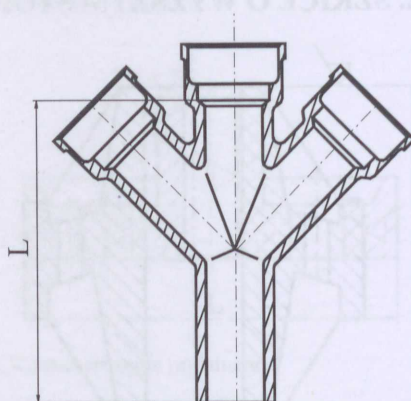
B.43. Stojak



B.44. Koło pasowe



B.45. Podpora

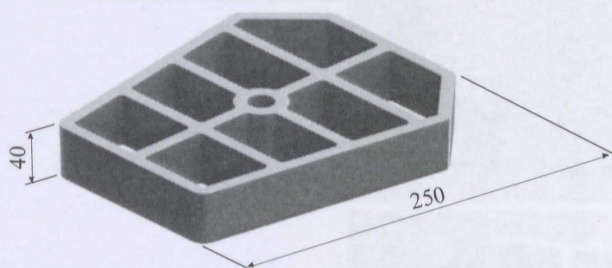


B.46. Czwórnik jednopłaszczyznowy

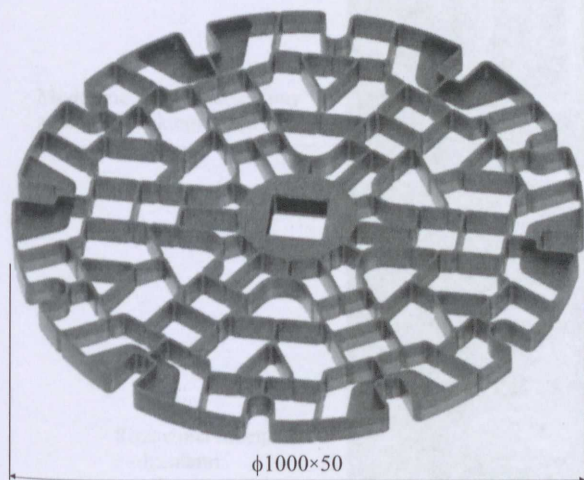
WYTWARZANIE ODLEWÓW W ODLEWNI DOŚWIADCZALNEJ IIM WYDZIAŁU INŻYNIERII MECHANICZNEJ I MECHATRONIKI ZUT W SZCZECINIE

C.1. WYTWARZANE ODLEWY

Proces wytwarzania odlewów w warunkach rzeczywistych z użyciem jednorazowej formy piaskowej formowanej ręcznie zilustrowano za pomocą dokumentacji fotograficznej obrazującej kolejne czynności wykonawcze dla dwóch przypadków odlewów palety (rys. C.1 i C.2).



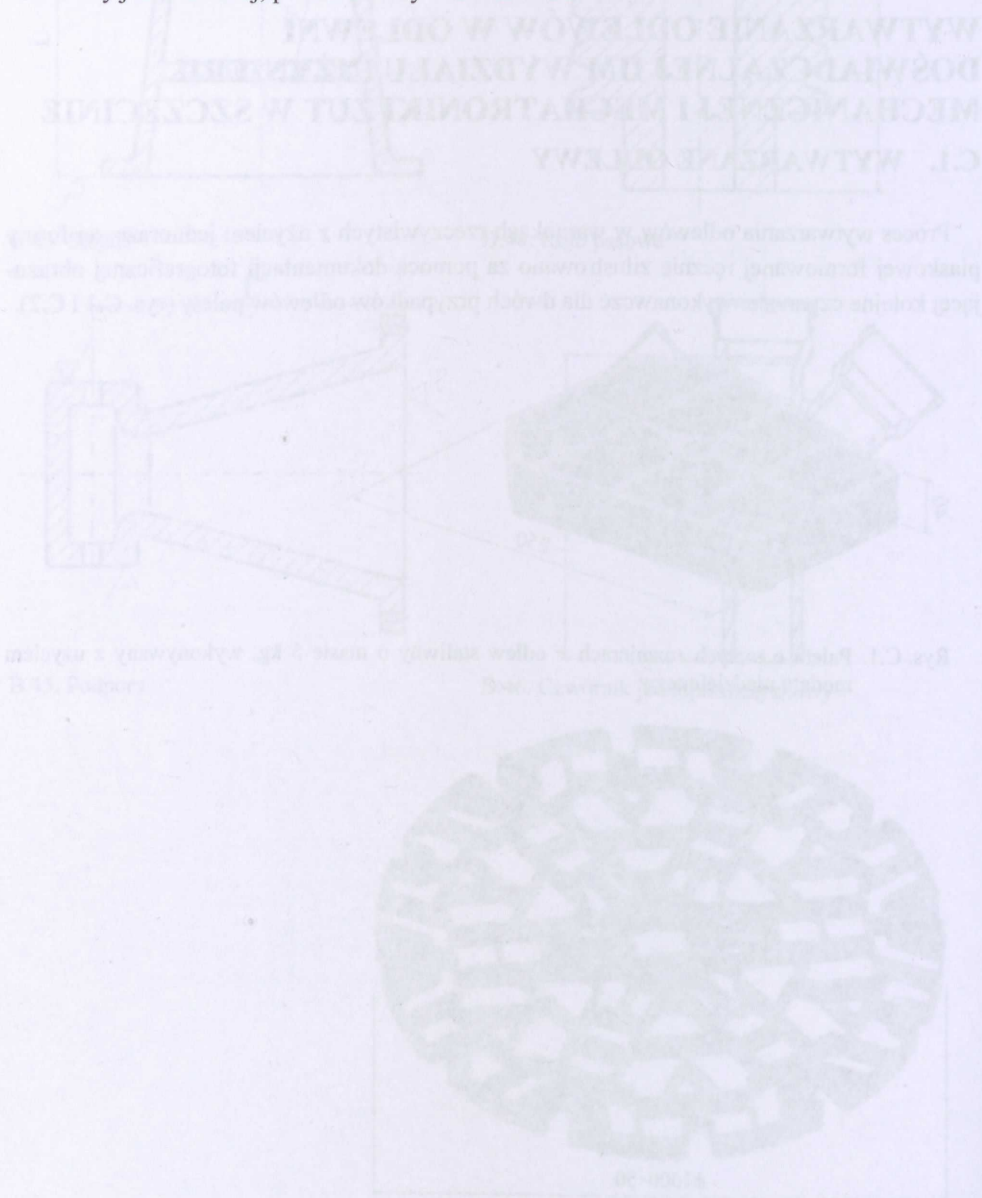
Rys. C.1. Paleta o małych rozmiarach – odlew staliwny o masie 5 kg, wykonywany z użyciem modelu niedzielnego



Rys. C.2. Paleta o dużych rozmiarach – odlew staliwny o masie 60 kg, wykonywany z użyciem modelu dzielonego

Odlewy palet są podstawową częścią oprzyrządowania technologicznego stosowaną do ułożenia i transportu wsadu (części obrabianych cieplnie) w piecach węglowych do obróbki cieplnej. Całe oprzyrządowanie technologiczne składa się z kilku lub kilkunastu elementów o różnym kształcie i rozmiarach*.

Komentarzem do zdjęć (rys. C.3–C.12) jest również opis czynności w trakcie wykonywania formy jednorazowej, przedstawiony w ćwiczeniu 3.



* B. Piekarski: *Odlewy ze stopów żarowytrzymałych w piecach do obróbki cieplnej*. Szczecin, Wydaw. Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, 2012.

C.2. WYKONANIE ODLEWU PALETY O MAŁYCH ROZMIARACH

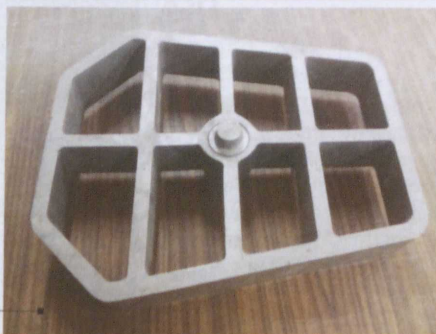
C.2.1. PRZYRZĄDY I NARZĘDZIA UŻYTE DO WYKONANIA FORMY ODLEWNICZEJ (RYS. C.3.1)



Skrzynka formierska ze sworzniami



Model metalowy podzielony z luźnym znakiem rdzeniowym



Rozłożona rdzennica z rdzeniami



Rys. C.3. Oprzyrządowanie odlewnicze i narzędzia formierskie niezbędne do wykonania formy

C.2.2. WYKONANIE DOLNEJ POŁOWY FORMY



Dolna połowa modelu, dolna skrzynka formierska oraz modele wlewów doprowadzających odpowiednio ustawione na płycie modelowej względem siebie

Model posypyany pudrem formierskim oraz sito z masą formierską przygotowane do pokrycia modelu masą przymodelową



Model posypyany pierwszą warstwą masy przymodelowej



Zagęszczanie masy ubijakiem wokół krawędzi skrzynki formierskiej



Rys. C.4. Etapy wykonywania dolnej połowy formy



Zgarnianie listwą metalową nadmiaru zagęszczonej masy

Nakłuwanie formy
– wykonanie kanałów odpowietrzających



Rys. C.4. Etapy wykonywania dolnej połowy formy (cd.)

C.2.3. WYKONANIE GÓRNEJ POŁOWY FORMY



Złożenie dolnej i górnej połowy skrzynki z użyciem sworzni (po wcześniejszym odwróceniu dolnej skrzynki o 180°), a następnie odpowiednie ustawienie modeli wlewu rozprowadzającego, głównego oraz przelewu na powierzchni podziału formy

Wypełnienie skrzynki górnej masą formierską z jej równoczesnym zagęszczaniem



Rys. C.5. Etapy wykonywania górnej połowy formy

C.2.4. ZŁOŻENIE FORMY



Górna i dolna połowa formy od strony powierzchni jej podziału przed wyciągnięciem modeli (modelu odlewu i elementów układu wlewowego)

Uchwyt do wyciągania modelu wkręcony w płytkę do obijania i wyciągania zamocowaną w modelu



Rdzeń ustawiony we wnęce formierskiej dolnej połowy formy



Forma złożona z wyciętym zbiornikiem wlewowym



Forma złożona i obciążona – gotowa do zalania ciekłym metalem

Rys. C.6. Etapy składania formy

C.2.5. ZALEWANIE FORMY CIEKŁYM METALEM I USUWANIE ODLEWU Z FORMY



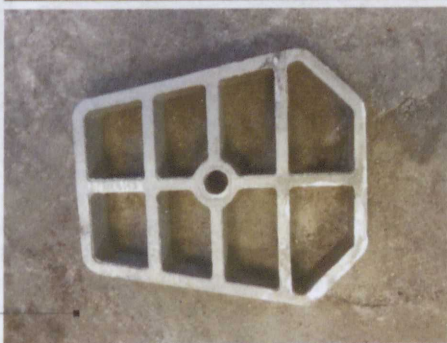
Zalewanie formy ciekłym metalem



Odlew wybity z formy

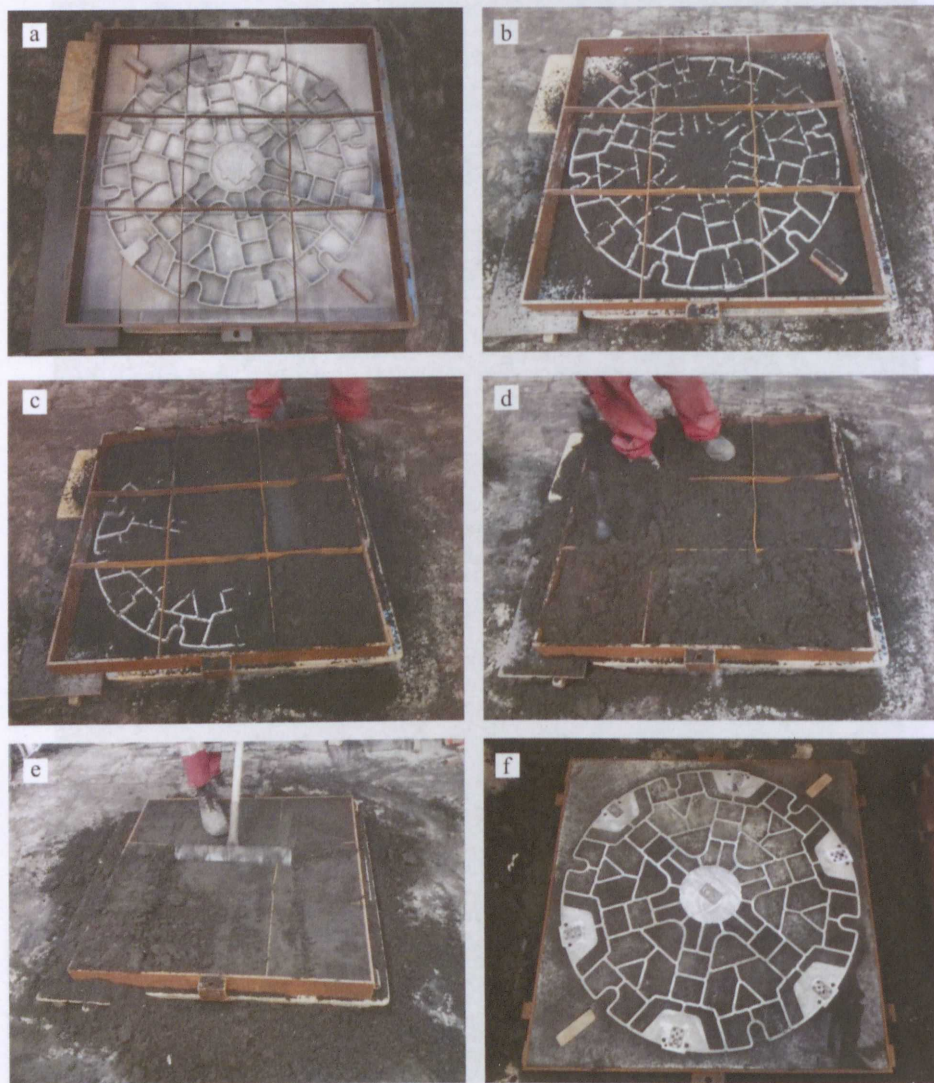


Odlew z układem wlewowym
– po oczyszczeniu z masy formierskiej



Odlew surowy

Rys. C.7. Zalewanie formy, wybijanie odlewu z układem wlewowym z formy oraz odlew surowy

C.3. WYKONANIE ODLEWU PALETY O DUŻYCH ROZMIARACH**C.3.1. WYKONANIE DOLNEJ POŁOWY FORMY**

Rys. C.8. Etapy wykonywania dolnej połowy formy: a) dolna połowa modelu, dolna skrzynka formierska i część elementów układu wlewowego, ułożone na płycie modelowej; b–c) pokrycie modelu masą przymodelową; d) zagęszczanie masy wypełniającej za pomocą ubijaka pneumatycznego; e) zgarnianie nadmiaru zagęszczonej masy wychodzącego ponad wysokość skrzynki; f) zaformowana dolna połowa formy po obróceniu o 180°

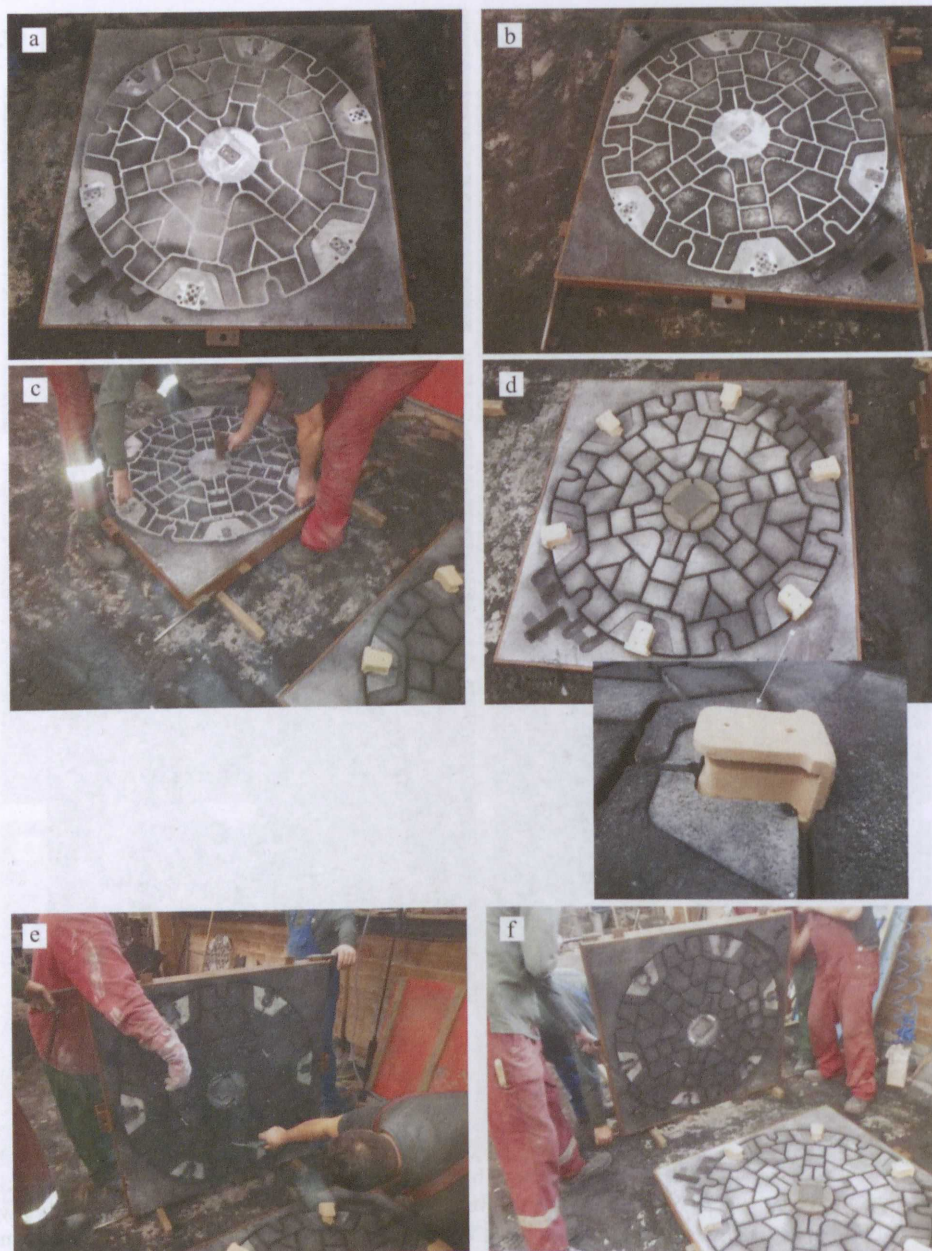
C.3.2. WYKONANIE GÓRNEJ POŁOWY FORMY



Rys. C.9. Etapy wykonywania górnej połowy formy: a) ustawienie górnej połowy modelu i część elementów układu wlewowego (pozostałych elementów wlewu rozprowadzającego) na powierzchni dolnej połowy formy; b–c) nałożenie górnej połowy skrzynki formierskiej na dolną jej połowę z użyciem sworzni oraz pokrycie modelu masą przymodelową; d) zagęszczanie masy wypełniającej za pomocą ubijaka pneumatycznego; e) ustawienie w masie dwóch modeli wlewu głównego oraz osłon nadlewów* (osłon izolacyjnych wykonanych z kompozycji włókien glinokrzemianowych); f) zaformowana górna połowa formy po obroceniu o 180°

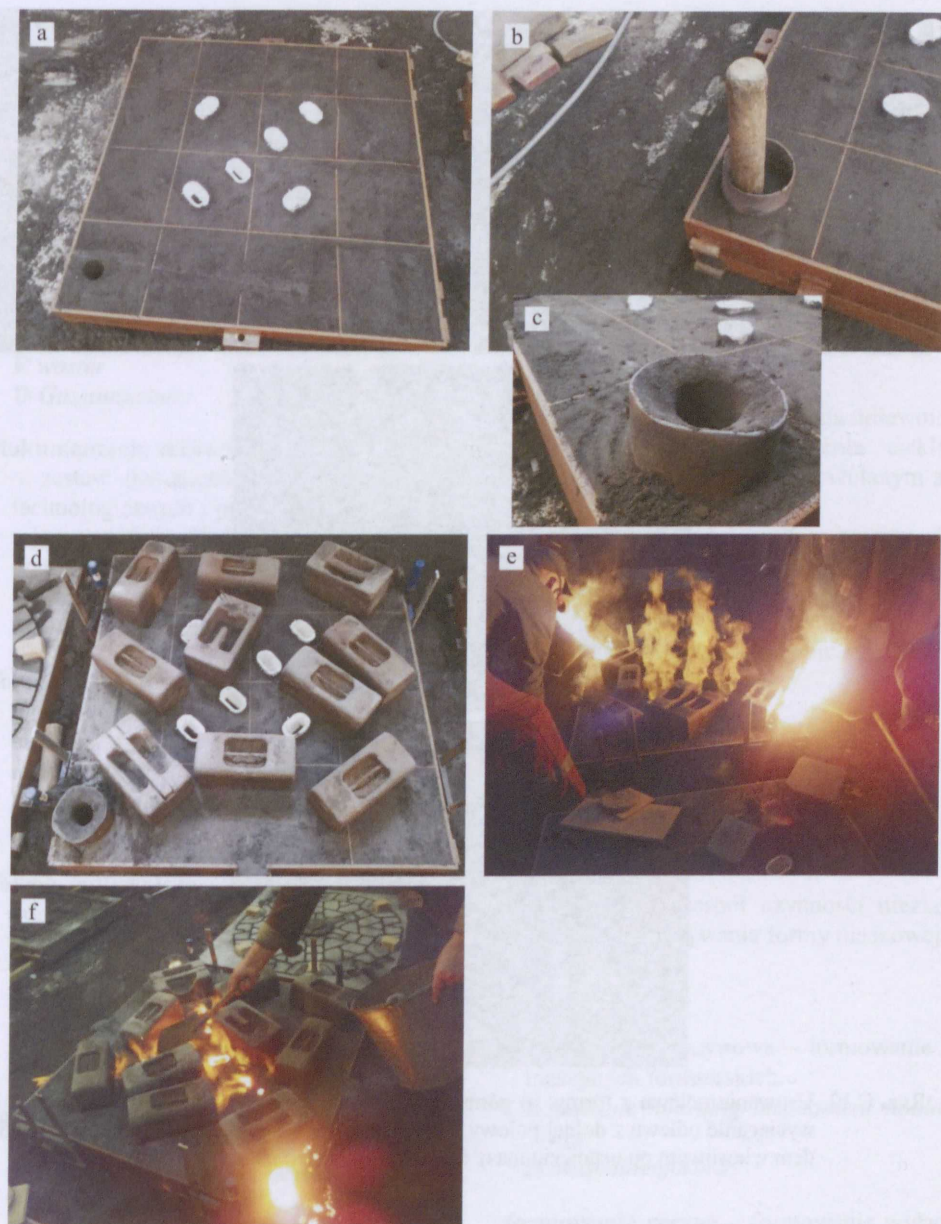
* Nadlew jest to element układu wlewowego mieszczący ciekły metal zasilający odlew w czasie jego krzepnięcia.

C.3.3. ZŁOŻENIE FORMY



Rys. C.10. Etapy składania formy: a) dolna połowa formy od strony powierzchni podziału; b) górna połowa formy od strony powierzchni podziału; c) wyciąganie połowy modelu z formy; d) wnętrza formy z umieszczonymi w niej rdzeniami; e) usuwanie luźnej masy formierskiej z wnętrza formy za pomocą sprężonego powietrza; f) składanie górnej i dolnej połowy formy

C.3.4. ZALEWANIE FORMY CIEKŁYM METALEM



Rys. C.11. Przygotowanie formy do zalania ciekłym metalem oraz jej zalewanie: a) górna powierzchnia złożonej formy; b) formowanie zbiornika wlewowego; c) uformowany zbiornik wlewowy; d) obciążona forma gotowa do zalania ciekłym metalem; e) zalewanie formy ciekłym metalem z dwóch kadzi ręcznych; f) zasypywanie górnej powierzchni osłon nadlewów zasypką izolacyjną i egzotermiczną w celu przedłużenia w nich czasu krzepnięcia metalu

C.3.5. USUWANIE ODLEWU Z FORMY



Rys. C.12. Usuwanie odlewu z formy: a) górna powierzchnia formy po zdjęciu obciążników; b) wyciąganie odlewu z dolnej połowy formy; c) odlew wybity z formy; d) odlew z układem wlewowym po usunięciu masy formierskiej i osłon nadlewów

POLSKO-ANGIELSKO-NIEMIECKI SŁOWNIK TERMINÓW STOSOWANYCH W ODLEWNICTWIE

bentonit odlewniczy – materiał będący produktem przeróbki ilów montmorylonitowych.

E *foundry bentonite*

D *Bentonite*

brak odlewniczy – odlew nieodpowiadający warunkom zamówienia.

E *waster*

D *Gussausschuss*

dokumentacja technologiczna odlewnicza – zestaw dokumentów konstrukcyjnych, technologicznych i produkcyjnych, zawierających informacje niezbędne do wytwarzania odlewów.

E *foundry technological documentation*

D *technologische Giessereidokumentation*

forma ciśnieniowa – metalowa forma odlewnicza przeznaczona do wypełniania ciekłym metalem pod wysokim ciśnieniem.

E *pressure die casting*

D *Giessform*

forma odlewnicza – zespół elementów, które po złożeniu tworzą wnękę o kształtach odpowiadających kształtom odlewu i układu wlewowego, którą wypełnia się ciekłym metalem.

E *mould*

D *Giessform*

forma piaskowa – jednorazowa forma odlewnicza wykonana z masy formierskiej przez zagęszczenie lub utwardzenie.

E *sand mould*

D *Sandform*

forma skorupowa – forma odlewnicza wykonana z masy formierskiej złożonej z piasku kwarcowego, żywicy syntetycznej z utwardzaczem i zwiłzaczem lub też z piasku powleczonego (o ziarnach pokrytych żywicą).

E *shell mould*

D *Maskenform*

forma trwała (forma wielokrotnego użytku) – forma odlewnicza przeznaczona do wielokrotnego zalewania ciekłym metalem.

E *permanent mould*

D *Dauerform*

forma wirująca – trwała forma odlewnicza przeznaczona do wypełniania ciekłym metalem pod ciśnieniem wywołanym siłą odśrodkową.

E *spinning mould, centrifugal casting die*

D *Schleuderform*

formiarnia – wydział odlewni, w którym wykonuje się formy odlewnicze.

E *moulding shop*

D *Formerei*

formierz – pracownik wykonujący formy odlewnicze.

E *moulder*

D *Former*

formowanie – zespół czynności niezbędnych do wykonywania formy piaskowej.

E *moulding*

D *Formtechnik*

formowanie maszynowe – formowanie na maszynach formierskich.

E *machine moulding, mechanical moulding*

D *Maschinenformen*

formowanie ręczne – formowanie wyłącznie za pomocą narzędzi ręcznych.

E *hand moulding*

D *Handformen*

kokila – trwała forma odlewnicza przeznaczona do wypełniania ciekłym metalem pod ciśnieniem grawitacyjnym lub dodatkowym niskim ciśnieniem.

E metal mould

D Kokille

krystalizator – trwała forma metalowa przeznaczona do wypełniania ciekłym metalem przy odlewaniu ciągłym.

E continuous casting mould

D Stranggiesskokille

masa formierska – mieszanina materiałów przeznaczonych do wykonania formy piaskowej.

E moulding sand

D Formsand

masa syntetyczna – masa formierska sporządzona przez zmieszanie piasku kwarcowego z dodatkiem glin lub spoiw.

E synthetic sand

D synthetischer Formsand

maszyna ciśnieniowa z gorącą komorą – maszyna, w której komora prasowania zamurzona jest stale w ciekłym metalu.

E hot chamber machine

D Warmkammer-Druckgiessmaschine

maszyna ciśnieniowa z zimną komorą – maszyna, w której komora prasowania znajduje się poza ciekłym metalem.

E cold chamber machine

D Kalkammer-Druckgiessmaschine

metoda Shawa – sposób wykonywania formy z ciekłych mas ceramicznych, w których osnową są materiały glinokrzemianowe lub krzemian cyrkonu, a spoiwem jest zhydrolizowany krzemian etylu.

E Shaw-Process

D Shaw-Verfahren

model – przyrząd, za pomocą którego odtworza się wnękę formy odlewniczej.

E pattern

D Modell

modelarnia – wydział produkcyjny, w którym wykonuje się zespoły modelowe i rdzeniowe.

E pattern-shop

D Modellwerkstatt

modelarz – pracownik wykonujący zespoły modelowe i rdzennice.

E pattern-maker

D Modellbauer

model odlewniczy – przyrząd odtwarzający w formie odlew zewnętrzny.

E pattern

D Modell

model wytapiany – model z materiału łatwotopliwego, który usuwa się z formy przez wytopienie.

E investment pattern

D Ausschmelzmodell

modyfikowanie – zabieg metalurgiczny polegający na wprowadzeniu do ciekłego metalu niewielkiej ilości określonych substancji (modyfikatorów), zmieniających w określonym stopniu fizykochemiczny stan metalu.

E modification

D Impfung, Imphbehandlung, Imphen

naddatek na obróbkę skrawaniem – grubość warstwy metalu odlewu przeznaczona do usunięcia w procesie skrawania.

E machining allowance

D Bearbeitungszugabe

naddatek technologiczny – założone przez technologa powiększenie ewentualnie pomniejszenie wymiarów części odlewanej, zapewniające możliwość wykonania odlewu bez wad (np. pochylenia odlewnicze, żebra skurczowe).

E riser pad

D giesstechnische Werkstoffzugabe

nadlew – naddatek technologiczny, którego głównym zadaniem jest zapobieganie tworzeniu się w odlewie jam skurczowych i rzadzizn, usuwany w trakcie operacji wykańczania odlewu.

E feeding head, riser

D Speiser, Steiger

narzędzie formierskie – narzędzie przeznaczone do formowania ręcznego, poprawy i wykończenia formy piaskowej i rdzenia.

E moulding tool

D Formwerkzeug

oczyszczalnia – wydział odlewni przeznaczony do oczyszczania odlewów.

E fettling shop

D Putzerei, Gussputzerei

oczyszczanie odlewu – operacja technologiczna polegająca na usuwaniu z powierzchni odlewu zanieczyszczeń niemetalowych (np. resztek masy formierskiej i rdzeniowej) oraz zgorzeliny.

E fettling of a casting

D Putzen des Gusstückes

odlew – przedmiot uzyskany po zakrzepnięciu ciekłego metalu wprowadzonego do formy odlewniczej.

E casting

D Gusstück

odlewanie – kształtowanie przedmiotów przez wypełnianie form odlewniczych ciekłym metalem.

E casting, founding

D Giessen

odlewanie ciągłe – metoda odlewania grawitacyjnego polegająca na ciągłym wypełnianiu ciekłym metalem intensywnie chłodzonej formy (krystalizatora) przy równoczesnym ciągłym lub okresowym usuwaniu z niej zakrzepniętego odlewu.

E continuous casting

D Stranggiessverfahren

odlewanie ciśnieniowe – metoda odlewania polegająca na wypełnieniu formy ciśnieniowej ciekłym metalem przez wywieranie na ten metal wysokiego ciśnienia.

E pressure die casting

D Druckgiessverfahren

odlewanie do form piaskowych – metoda odlewania polegająca na wypełnieniu ciekłym metalem formy wykonywanej z ma-

sy formierskiej pod działaniem siły grawitacyjnej.

E sand casting

D Sandgiessen

odlewanie kokilowe – metoda odlewania polegająca na wypełnieniu ciekłym metalem formy trwałej pod działaniem siły grawitacyjnej.

E permanent-mould casting, gravity die-casting

D Kokillengiessverfahren

odlewanie odśrodkowe – metoda odlewania polegająca na wypełnieniu ciekłym metalem formy trwałej z wykorzystaniem siły odśrodkowej i grawitacji.

E centrifugal casting

D Schleuderguissverfahren

odlewanie pod niskim ciśnieniem – metoda odlewania polegająca na wypełnieniu ciekłym metalem formy trwałej przez wywieranie na ten metal niskiego ciśnienia.

E low-pressure diecasting

D Niederdruckgiessverfahren

odlewanie precyzyjne – metoda odlewania polegająca na wypełnieniu ciekłym metalem form wykonywanych specjalnymi metodami, które zapewniają uzyskanie dużej dokładności wymiarowej i gładkiej powierzchni odlewów.

E precision casting

D Feingiessen, Feingiessverfahren

odlewnia – zakład przemysłowy lub wydział zakładu, w którym wytwarza się odlewy.

E foundry

D Giesserei, Giessereibetrieb

odlewnictwo – dziedzina techniki, obejmująca wytwarzanie odlewów ze stopów metali.

E foundry practice

D Giessereiweisen, Giessereitechnik

odlewnicze stopy metali nieżelaznych – stopy przeznaczone na odlewy, w których metalem podstawowym jest czysty metal nieżelazny.

E *non-ferrous casting alloys*

D *NE-Gusslegierungen*

odżuźlacz – element układu wlewowego, zapobiegający przedostaniu się żuźla do wnęki formy.

E *dirt trap*

D *Schlackenfang*

pochylenie odlewnicze – pochylenie odlewu pozwalające na swobodne usunięcie modelu z formy, rdzenia z rdzennicy, odlewu z formy.

E *draft, draught*

D *Formschräge, Neigung*

powierzchnia podziału modelu – powierzchnia rozgraniczająca poszczególne części modelu.

E *model joint*

D *Teilung des Modelles*

przelew – element układu wlewowego przeznaczony do odprowadzenia gazów z formy, wyprowadzenia zanieczyszczeń niemetalowych wnęki formy, osłabienia uderzenia metalu o górną część formy oraz oceny stopnia zapełnienia formy metalem.

E *flow-off, overflow*

D *Entlüftungsüberlauf, Entlüftungssteiger*

rafinowanie – zabieg metalurgiczny polegający na wprowadzeniu do ciekłego metalu niewielkiej ilości określonych substancji (rafinatorów) lub przeprowadzeniu dodatkowej czynności (przedmuchiwanie ciekłego metalu) w celu usunięcia zanieczyszczeń.

E *refining*

D *Raffinieren*

rdzeniarnia – wydział odlewni, w którym wykonuje się rdzenie.

E *core shop*

D *Kernmacherei*

rdzeniarz – pracownik wykonujący rdzenie.

E *coremaker*

D *Kernmacher*

rdzennica – przyrząd przeznaczony do wykonywania w nim rdzeni piaskowych.

E *corebox*

D *Kernkasten*

rdzeń – część składowa formy odlewniczej, odwzorowująca kształt odlewu nieodtworzany bezpośrednio przez wnękę formy.

E *corn*

D *Kern*

rysunek koncepcji technologicznej – rysunek określający sposób wykonania odlewu przez naniesienie danych potrzebnych do wykonania zespołu modelowego i formy, opracowany na odbitce rysunku części odlewanej lub rysunku surowego odlewu przez naniesienie danych w kolorach: czerwonym, niebieskim i zielonym.

E *design of technological concept*

D *Zeichnung des technologischen Konzepts*

rysunek surowego odlewu – rysunek odlewu zawierający odlewnicze technologiczne wymagania oraz uzupełnienia konstrukcyjne dla surowego odlewu, wykonany na podstawie rysunku części odlewanej lub na odbitce rysunku części odlewanej z uwzględnieniem danych technologicznych w kolorach: czerwonym i niebieskim.

E *design of rough casting*

D *Rohgusszeichnung*

sferoidyzacja – zabieg metalurgiczny, polegający na wprowadzeniu do ciekłego metalu niewielkiej ilości określonych substancji (sferoidyzatorów), prowadzących do wydzielenia grafitu w postaci kulkowej.

E *spheroidization*

D *Sphärodisierung*

skrzynka formierska – przyrząd przeznaczony do wykonywania w nim formy piaskowej.

E *moulding box, moulding flask*

D *Formkasten*

stacja przerobu mas – wydział odlewni, w którym przygotowuje się masy formierskie i rdzeniowe.

E *sand processing plant, sand plant*

D *Sandaufbereitungsanlage*

staliwo – stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, zawierający do ok. 2% węgla, otrzymany w procesach stalowniczych w stanie ciekłym i odlewany do form odlewniczych.

E *cast steel*

D *Stahlguss*

układ wlewowy – zespół kanałów, wnęk i innych elementów formy przeznaczony do doprowadzenia ciekłego metalu do wnęki formy oraz zatrzymania zanieczyszczeń niemetalowych.

E *gating system*

D *Anschnittsystem (AS)*

wady odlewu – niedotrzymanie kształtu i jakości powierzchni, naruszenie ciągłości materiału lub nieprawidłowości struktury wewnętrznej odlewu, wynikające z technologii odlewania.

E *casting defect*

D *Gussfehler*

wlew doprowadzający – element układu wlewowego, doprowadzający metal do wnęki formy, zwykle łączący z nią belkę wlewową.

E *gate*

D *Anschnitt*

wlew główny – wlew pionowy doprowadzający metal do belki wlewowej.

E *downgate, sprue*

D *Einguss, Eingusskanal*

wlew rozprowadzający – część układu wlewowego, łącząca wlew główny z wlewami doprowadzającymi, spełniająca zwykle funkcję odżuźlacza.

E *runner*

D *Lauf*

wybijanie odlewów – usuwanie zakrzepłych odlewów z formy odlewniczej.

E *knock-out*

D *Ausleeren, Auspacken*

wykańczanie odlewu – operacja technologiczna obejmująca zabiegi mające na celu: usunięcie z powierzchni odlewu zbędnego metalu; uzyskanie wymaganej struktury i właściwości odlewu; jego naprawę i zabezpieczenie przed korozją; nadanie mu estetycznego wyglądu zewnętrznego.

E *finishing of a casting*

D *Finishing der Gusstücke*

wytapialnia – wydział odlewni, w którym przygotowuje się ciekły metal na odlewy.

E *melting shop*

D *Schmelzerei, Schmelzbetrieb*

zbiornik wlewowy – zbiornik zasilający wlew główny, uspokajający przepływ metalu i ułatwiający oddzielenie zanieczyszczeń.

E *pouring basin*

D *Eingussmulde, Eingussumpf*

zespół modelowy (oprzyrządowanie modelowe) – zestaw przyrządów do odtwarzania wnęki formy odlewniczej.

E *pattern equipment*

D *Modelleinrichtungen*

żeliwo – stop żelaza z węglem i innymi pierwiastkami, o składzie chemicznym zapewniającym krzepnięcie z przemianą eutektyczną, przeznaczony na odlewy.

E *cast iron*

D *Gusseisen*



30, ✓

Biblioteka Główna
Zachodniopomorskiego Uniwersytetu
Technologicznego w Szczecinie

CZ.56688



001-056688-00-0

CZ 22.07

ISBN 978-83-7663-174-5