



STANISŁAW KARPIŃSKI TADEUSZ KARPIŃSKI

PODSTAWY ODLEWNICTWA Z ĆWICZENIAM I LABORATORYJNYMI



POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA

Stanisław Karpiński Tadeusz Karpiński

**PODSTAWY ODLEWNICTWA
Z ĆWICZENIAMI LABORATORYJNYMI**

Koszalin 2009

ISBN 978-83-7365-181-4

Przewodniczący Uczelnianej Rady Wydawniczej
Bronisław Słowiński

Recenzja
Mieczysław Feld

Redakcja
Agnieszka Czajkowska

Projekt okładki
Tadeusz Walczak

© Copyright by Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej
Koszalin 2009

WYDAWNICTWO UCZELNIANE POLITECHNIKI KOSZALIŃSKIEJ
75-620 Koszalin, ul. Raławicka 15-17

Koszalin 2009, wyd. I, ark. wyd. 7,6, format B-5, nakład 200 egz.
Druk: EXPOL, Włocławek

SPIS TREŚCI

Przedmowa	9
Wprowadzenie	11
Podstawy bhp w procesach odlewniczych	16
Podstawowe zalecenia bhp w laboratorium	17
Zasady odbywania ćwiczeń laboratoryjnych	18
1. Dokumentacja technologiczna odlewu	19
1.1. Wstęp	19
1.2. Rodzaje dokumentacji odlewniczej	20
1.3. Rysunek surowego odlewu	21
1.3.1. Rysunek surowego odlewu w wersji uproszczonej	21
1.3.2. Rysunek surowego odlewu pełny	26
1.4. Oznaczenia odlewnicze na rysunkach surowego odlewu	28
1.4.1. Powierzchnia podziału	30
1.4.2. Naddatki na obróbkę	30
1.4.3. Naddatki technologiczne	31
1.4.3.1. Pochylenia odlewnicze (zbieżności)	31
1.4.3.2. Wypełnienie otworów i wnęk	32
1.4.3.3. Nadlewki służące do uchwycenia odlewu przy obróbce mechanicznej	32
1.4.3.4. Żebra usztywniające i łączniki zabezpieczające odlew przed odkształceniem i pękaniem	33
1.4.4. Promienie zaokrągleń i wyokrągleń	33
1.5. Modele, rdzennice, rdzenie	34
1.6. Część praktyczna ćwiczenia	39
1.6.1. Cel i zakres ćwiczenia	39
1.6.2. Przebieg ćwiczenia	39
1.6.3. Opracowanie sprawozdania	39
1.7. Literatura	40
2. Analiza technologiczności konstrukcji odlewu	41
2.1. Czynniki wyboru koncepcji odlewania	41
2.2. Wpływ konstrukcji odlewu i formy na jakość odlewu	46
2.3. Część praktyczna ćwiczenia	53
2.3.1. Cel i zakres ćwiczenia	53
2.3.2. Wykonanie analizy technologiczności konstrukcji	53

2.3.3. Opracowanie sprawozdania	54
2.4. Literatura	54
3. Sporządzanie i badanie wilgotności mas formierskich z gliną bentonitową	55
3.1. Materiały formierskie (surowce)	55
3.1.1. Materiały stosowane na ośnowę ziarnową (piaski formierskie) ...	56
3.1.2. Materiały wiążące (lepiszcza)	57
3.1.3. Pomocnicze materiały formierskie	58
3.2. Masa formierska z gliną bentonitową	58
3.3. Część praktyczna ćwiczenia	62
3.3.1. Cel i zakres ćwiczenia	62
3.3.2. Przykładowa instrukcja sporządzania masy formierskiej z gliną bentonitową	62
3.3.3. Oznaczanie wilgotności mas aparatem do przyspieszonego oznaczania wilgotności typu LW	62
3.3.4. Opracowanie sprawozdania	64
3.4. Literatura	64
4. Wskaźniki technicznych właściwości mas formierskich i rdzeniowych	65
4.1. Wprowadzenie	65
4.2. Właściwości technologiczne mas	66
4.2.1. Przepuszczalność	66
4.2.2. Płynność	67
4.2.3. Ścieralność (osypliwość)	67
4.2.4. Inne właściwości technologiczne mas formierskich i rdzeniowych	68
4.3. Wskaźniki wytrzymałości mas	69
4.4. Właściwości termofizyczne	71
4.5. Część praktyczna ćwiczenia	71
4.5.1. Cel i zakres ćwiczenia	71
4.5.2. Oznaczanie płynności masy formierskiej metodą Valtiera – Dieterta	71
4.5.3. Badanie przepuszczalności	72
4.5.4. Wykonanie pomiaru wytrzymałości na ściskanie i ścinanie	73
4.5.5. Opracowanie sprawozdania	74
4.6. Literatura	74

5. Sporządzanie i badanie właściwości mas formierskich i rdzeniowych na bazie spoiw nieorganicznych i organicznych	75
5.1. Wprowadzenie	75
5.2. Spoiwa nieorganiczne	75
5.3. Masy ze spoiwami nieorganicznymi	76
5.3.1. Sypkie masy szybkowiązące ze szkłem wodnym. Proces CO ₂	76
5.3.2. Ciekłe masy samoutwardzalne ze szkłem wodnym (CMS)	77
5.3.3. Masy cementowe	77
5.4. Spoiwa organiczne-żywice syntetyczne	78
5.5. Masy ze spoiwami organicznymi	79
5.5.1. Sypkie masy szybkowiązące (SMT) – termoutwardzalne	79
5.5.2. Sypkie masy samoutwardzalne (SMS) z żywicami syntetycznymi	79
5.5.3. Ciekłe masy samoutwardzalne (CMS) z żywicami syntetycznymi	81
5.6. Część praktyczna ćwiczenia	81
5.6.1. Cel i zakres ćwiczenia	81
5.6.2. Wykonanie próbek ósemkowych. Proces CO ₂	82
5.6.3. Wykonanie rdzenia z masy szybkowiążącej	82
5.6.4. Wykonanie rdzenia z masy samoutwardzalnej (SMS) ze spoiwem furanowym (masa furanowa)	82
5.6.5. Opracowanie sprawozdania	84
5.7. Literatura	84
6. Specjalne metody wytwarzania form i rdzeni	85
6.1. Wstęp	85
6.2. Technologia formowania skorupowego	85
6.3. Proces gorącej rdzennicy – proces HOT-BOX	86
6.4. Proces zimnej rdzennicy – proces COLD-BOX	87
6.5. Forma ceramiczna – proces Shawa	88
6.6. Część praktyczna ćwiczenia	89
6.6.1. Cel i zakres ćwiczenia	89
6.6.2. Wykonanie próbek z masy szybkowiążącej (SMT) metodą skorupową	89
6.6.3. Wykonanie formy skorupowej	90
6.6.4. Opracowanie sprawozdania	90
6.7. Literatura	90
7. Technologia formy odlewniczej piaskowej	91
7.1. Wprowadzenie	91

7.2. Rysunek piaskowej formy odlewniczej	92
7.3. Formowanie w dwóch skrzynkach	95
7.4. Część praktyczna ćwiczenia	101
7.4.1. Cel i zakres ćwiczenia	101
7.4.2. Wykonanie odlewu w formie piaskowej	101
7.4.3. Opracowanie sprawozdania	102
7.5. Literatura	102
8. Specjalne metody odlewania. Wykonanie odlewu kokilowego	103
8.1. Wprowadzenie	103
8.2. Odlewanie grawitacyjne	106
8.3. Odlewanie pod niskim ciśnieniem (niskociśnieniowe)	107
8.4. Odlewanie pod ciśnieniem (ciśnieniowe)	108
8.5. Odlewanie odśrodkowe	111
8.6. Odlewanie ciągle i półciągle	114
8.7. Część praktyczna ćwiczenia	115
8.7.1. Cel i zakres ćwiczenia	115
8.7.2. Wykonanie odlewu kokilowego	115
8.7.3. Opracowanie sprawozdania	116
8.8. Literatura	116
9. Specjalne metody odlewania. Technologia form dla modeli jednorazowych	117
9.1. Wykonanie odlewu metoda wytapianych modeli	117
9.1.1. Wykonanie modeli woskowych	118
9.1.2. Wykonanie formy ceramicznej	118
9.2. Proces pełnej formy (wypalanych modeli)	123
9.3. Część praktyczna ćwiczenia	124
9.3.1. Cel i zakres ćwiczenia	124
9.3.2. Przebieg ćwiczenia	124
9.3.3. Opracowanie sprawozdania	124
9.4. Literatura	124
Wybrane normatywne materiały pomocnicze do ćwiczeń i projektowania odlewów	125
Tablica Z1. Wybrane, podstawowe symbole graficzne chropowości na rysunkach [PN ISO 1302:2002]	126

Tablica Z2. Przykłady umiejscowienia pola tolerancji w odlewach [PN ISO 8062:1997]	127
Tablica Z3. Klasy tolerancji dla odlewów w produkcji jednostkowej lub małoseryjnej [PN ISO 8062:1997]	128
Tablica Z4. Klasy tolerancji dla wielkoseryjnej produkcji odlewów [PN ISO 8062:1997]	129
Tablica Z5. Tolerancje odlewu [PN ISO 8062:1997]	130
Tablica Z6. Stopnie naddatków na obróbkę skrawaniem (RMA) [PN ISO 8062:1997]	131
Tablica Z7. Wielkości naddatków na obróbkę skrawaniem [PN ISO 8062:1997]	132
Tablica Z8. Wartości pochyłeń dla form piaskowych [PN EN 12890:2002]	133
Tablica Z9. Wartości pochyłeń odlewniczych dla odlewów wykonywanych w masach samoutwardzalnych	133
Tablica Z10. Pochylenia odlewów wykonywanych grawitacyjnie w formach metalowych	134
Tablica Z11. Pochylenia odlewnicze ścianek odlewów ze stopów metali nieżelaznych wykonywanych pod ciśnieniem	134
Tablica Z12. Minimalne grubości ścianek odlewów wytwarzanych w formach piaskowych	135
Tablica Z13. Minimalne grubości ścianek odlewów kokilowych	135
Tablica Z14. Minimalne grubości ścianek dla odlewów ciśnieniowych	136
Tablica Z15. Minimalne grubości ścianek odlewów wykonywanych metodą wytapianych modeli	136
Tablica Z16. Chropowatość surowych powierzchni odlewu	136
Tablica Z17. Zalecane długości poziomych znaków rdzeniowych form wilgotnych	137
Tablica Z18. Zalecane wysokości pionowych znaków rdzeniowych form wilgotnych i suszonych	137
Tablica Z19. Orientacyjne wielkości luzów znaków rdzeniowych dla odlewów żeliwnych	138
Tablica Z20. Orientacyjne wielkości luzów znaków rdzeniowych dla odlewów ze stopów metali nieżelaznych o gęstości poniżej $4,5 \text{ g/cm}^3$	138
Tablica Z21. Wybrane przykłady rodzajów układów wlewowych	139
Tablica Z22. Klasy jakości modeli, zestawów modelowych i rdzennic [PN EN 12890:2002]	141

Tablica Z23. Klasy jakości – modele, zespoły modelowe i rdzennice wykonane z drewna [PN EN 12890:2002]	141
Tablica Z24. Klasy jakości – modele, zespoły modelowe i rdzennice wykonane z metalu [PN EN 12890:2002]	142
Tablica Z25. Klasy jakości – modele, zespoły modelowe i rdzennice wykonane z tworzyw sztucznych [PN EN 12890:2002]	143
Tablica Z26. Kolorystyka pokryw powierzchni (malowanie i znaczenie kolorów) modeli, zespołów modelowych i rdzennic	144
Tablica Z27. Wartości normatywne liniowego skurczu odlewniczego [PN EN 12890:2002]	145
Tablica Z28. Klasyfikacja żeliwa szarego [PN EN 1560:2001, PN EN 1561:2000]	146
Tablica Z29. Wybrane właściwości mechaniczne wybranych żeliw sferoidalnych [PN EN 1563:2000/A1:2004/A2:2006]	146
Tablica Z30. Właściwości mechaniczne żeliw ciągliwych [PN EN 1562:2000/A1:2006]	147
Tablica Z31. Warunki wytwarzania i struktura żeliw ciągliwych	147
Tablica Z32. Ogólna klasyfikacja żeliw stopowych ze względu na stężenie dodatków stopowych	148
Tablica Z33. Orientacyjny skład chemiczny i twardość żeliw stopowych odpornych na ścieranie [PN EN 12513:2003]	148
Tablica Z34. Skład chemiczny i własności mechaniczne staliw węglowych konstrukcyjnych [PN ISO 3755:1994]	149
Tablica Z35. Skład chemiczny i własności mechaniczne staliw niestopowych do pracy pod ciśnieniem [PN EN 10213:2008] ..	149
Tablica Z36. Orientacyjny skład chemiczny i własności wybranych odlewniczych stopów aluminium z krzemem (siluminów) [PN EN 1706:2001]	150
Tablica Z37. Orientacyjny skład chemiczny i własności wybranych odlewniczych stopów aluminium z magnezem [PN-EN 1706:2001]	151
Tablica Z38. Orientacyjny skład chemiczny i własności odlewniczych stopów aluminium z miedzią [PN-EN 1706:2001]	151
Tablica Z39. Orientacyjny skład chemiczny i własności odlewniczych stopów aluminium z cynkiem [PN-EN 1706:2001]	151
Wykaz przytoczonych norm	152

Przedmowa

Skrypt „*Podstawy odlewnictwa z ćwiczeniami laboratoryjnymi*” jest przeznaczony dla studentów kierunku Mechanika i Budowa Maszyn, niezależnie od obranych specjalności i rodzaju studiów. Przedmiot jest realizowany w ramach Inżynierii Wytwarzania.

Przy opracowaniu skryptu przyjęto zasadę, że studenci powinni w trakcie ćwiczeń laboratoryjnych zapoznać się z przebiegiem procesu wytwarzania odlewów, poznać podstawowe operacje i zabiegi tego procesu oraz zasadnicze czynniki wpływające na jakość odlewów.

Autorzy skryptu starali się dołożyć wszelkich starań, aby przybliżyć studentom poszczególne fazy wytwarzania odlewów, poczynając od podstawowej dokumentacji technologicznej odlewu z uwzględnieniem analizy technologiczności konstrukcji, przygotowania mas formierskich i rdzeniowych oraz kończąc na procesie wykonania odlewu.

W skrypcie ujęto 9 rozdziałów teoretycznych, zakończonych ćwiczeniami laboratoryjnymi. Każdy rozdział zawiera ogólny zasób wiedzy z zakresu tematu, opis praktycznej części ćwiczenia laboratoryjnego oraz wykaz zaproponowanej literatury do przygotowania się przez studenta do zaliczenia wykładu jak i ćwiczeń.

Treści zaprezentowane w poszczególnych rozdziałach oraz przytoczonych załącznikach uwzględniają również ustalenia i wymagania norm PN-ISO oraz PN-EN.

W końcowej części skryptu zamieszczono wybrane akty normatywne, niezbędne do realizacji ćwiczeń laboratoryjnych oraz opracowania dokumentacji technologicznej odlewu.

Na zakończenie autorzy dziękują recenzentowi Panu Profesorowi Mieczysławowi Feldowi za wnikliwą i bardzo pracowitą recenzję oraz życzliwe i inspirujące uwagi, które pozwoliły w sposób istotny uniknąć błędów i ulepszyć tekst tego skryptu.

Autorzy

Wprowadzenie

Odlewnictwo należy do technik wytwarzania części maszyn itp. o wymaganych właściwościach i wymiarach wykonanych poprzez wypełnienie odpowiednio przygotowanych form odlewniczych ciekłym tworzywem odlewniczym.

Odlewnictwo w dość istotny sposób różni się od większości innych metod wytwarzania w wyniku nadawania kształtu i składu chemicznego odlew bezpośrednio przed jego ukształtowaniem.

Technologie odlewnicze wykazują następujące zalety:

- możliwość wykonywania odlewów z różnych stopów metali oraz kompozytów,
- możliwość wykonywania wyrobów o różnych wymiarach i najbardziej skomplikowanym kształcie,
- możliwość sterowania procesem wytopu tworzyw odlewniczych i ich krzepnięcia w formach,
- wysokie właściwości mechaniczne odlewów, a wielu przypadkach nie ustępujące właściwościom mechanicznym części wytwarzanych innymi technologiami (np.: kucie, prasowanie, tłoczenie itp.),
- niższe koszty wytwarzania od kosztów produkcji innych technologii wytwarzania.

Istotą zagadnień odlewnictwa jest również uzyskanie ciekłego tworzywa odlewniczego o wymaganym składzie chemicznym, jakości oraz wypełnienie nim formy odlewniczej. W wyniku stygnięcia metal krzepnie i w stanie stałym przyjmuje kształty nadane mu przez wnękę formy. Podczas krystalizacji jak i ochładzania tworzywa odlewniczego ustalają się mechaniczne i użytkowe właściwości odlewu, określona makro/mikrostruktura stopu, obecność i rozłożenie wtrąceń niemetalicznych oraz wielkość naprężeń wewnętrznych.

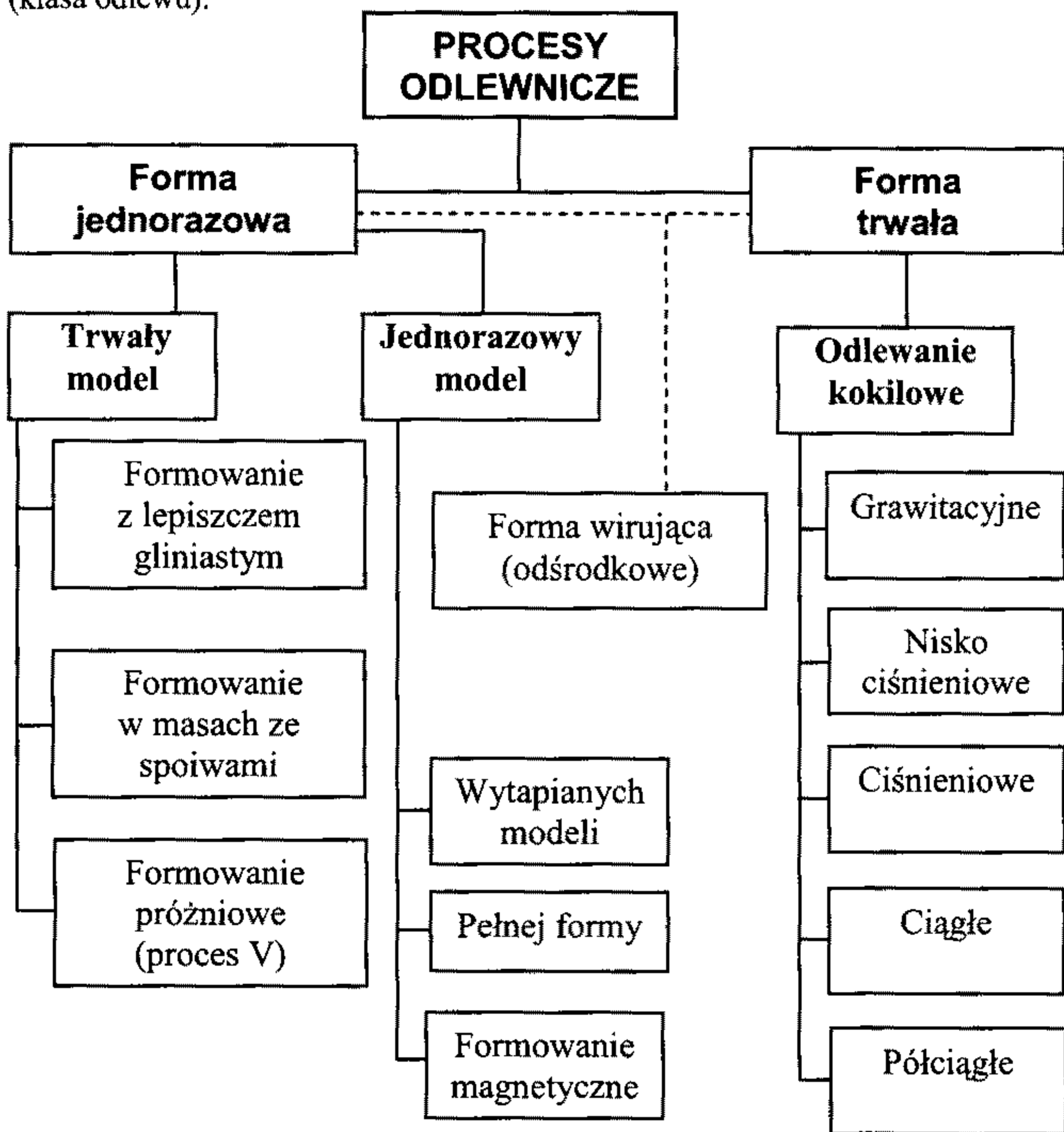
Kształt odlewów może być dowolny, ale uzależniony jest np.: od możliwości wykonania formy (formy jednorazowe, formy wielokrotnego użycia), minimalnej grubości ścianek, lejności tworzywa odlewniczego oraz oprzyrządowania technologicznego procesu.

W zależności od wymagań jakościowych odlewów istnieje duża różnorodność procesów odlewniczych, a jednocześnie istota tych wszystkich procesów sprowadza się do następujących działań:

- zaprojektowanie i wykonanie formy odlewniczej,
- przygotowanie ciekłego tworzywa odlewniczego (proces wytopu),

- wypełnienie roztopionym (w temperaturze zalewania) tworzywem odlewniczym uprzednio przygotowanej formy (wnęki formy),
- zakrzepnięcie i ostudzenie wlanego tworzywa odlewniczego,
- usunięcie odlewu z formy i jego wykończenie.

W każdym z wymienionych na rys. 1 procesów odlewniczych oraz w zależności od rodzaju tworzywa odlewniczego występują różnice w warunkach doprowadzania ciekłego tworzywa odlewniczego do wnęki formy, warunkach krzepnięcia i stygnięcia, czyszczenia odlewów oraz jakości odlewu (klasa odlewu).



Rys. 1. Ogólna klasyfikacja odlewniczych procesów odlewniczych

Tablica 1. Ogólna charakterystyka wybranych procesów odlewniczych

Charakterystyka	Element (odlew)					Koszt			Produkcja	
	Materiał odlewniczy (stopy)	Jakość powierzchni	Masa odlewu, kg	Minimalny przekrój, mm	Minimalna średnica rdzenia, mm	Wypożyczenie	Forma lub matryca	Obróbka wykańczająca	Wydajność /szt./ (h – forma)	Minimalna skala produkcji
Procesy odlewnicze										
Odlewanie w formach piaskowych	Σ	N	0,01÷300000	3÷6	4÷6	S/N	S/N	W/S	≤20	~1÷100
Odlewanie w formach skorupowych z mas utwardzalnych	Σ	D	0,01÷100	2÷4	3÷6	S	D/S	S/N	5÷50	~100
Odlewanie w formach z mas cementowych	Zn do Cu	D	0,01÷1000	1	10	S/N	S/N	S/N	≤10	~10
Odlewanie metodą wytapianych modeli	Σ	BW	0,01÷100	2÷4	4÷6	D/S	BW	N	≤500	~10÷1000
Odlewanie ciśnieniowe	Al. do Zn	D	0,01÷50	1÷2,5	5÷10	D	BW	N	30÷1000	~5000
Odlewanie odśrodkowe	Al. do żeliwa	D/S	0,01÷100	2÷20	-	D/S	S	S	≤10	100÷5000
Odlewanie ciągłe	Zn do żeliwa	D/S	0,1÷100	2÷4	4÷6	D	BW	S	5÷50	~1000

Oznaczenia poziomów: BW – bardzo wysoki, W – wysoki, D – duży, S – średni, N – niski, Σ -wszystkie

Zakres wymagań stawianych odlewom we współczesnym przemyśle jest dość szeroki i obejmuje:

- różnorodność tworzyw odlewniczych i ich właściwości,
- bardzo duża różnorodność wymiarów i kształtów odlewów,
- wąskie tolerancje wymiarowe, tolerancje chropowatości, wielkości naddatków technologicznych i naddatków na obróbkę,
- różnorodność seryjności produkcji – od jednostkowej do masowej,
- jak najniższe koszty wytwarzania,
- zachowanie warunków ochrony zdrowia i środowiska przed zanieczyszczeniami i odpadami wynikających z procesów odlewniczych.

Wytwarzanie odlewów, spełniających określone wymagania, co do kształtu (konstrukcji), dokładności, rodzaju tworzywa odlewniczego oraz jego struktury i innych parametrów, wymaga szeregu działań, przebiegających w następujących etapach:

- 1) analiza technologiczności konstrukcji odlewu oraz opracowanie dokumentacji technologicznej odlewu,
- 2) wykonanie formy i oprzyrządowania,
- 3) pozyskanie ciekłego tworzywa odlewniczego (materiały wsadowe do pieca - wytapianie),
- 4) sterowanie składem chemicznym (stopów) tworzyw odlewniczych,
- 5) oczyszczanie z zanieczyszczeń cieczy metalowej poprzez procesy rafinacji (procesy piecowe i pozapiecowe),
- 6) procesy modyfikacji cieczy metalowej tworzywa odlewniczego,
- 7) wykonanie odlewu (sterowanie parametrami w metodach odlewania),
- 8) obróbka odlewu.

Proces technologiczny wytwarzania odlewów składa się z wielu licznych czynności technologicznych przy wykonaniu form i ich zalaniu oraz różnorodnych zjawisk fizyko-chemicznych zachodzących przed i po zalaniu formy, które wpływają na jakość odlewu.

Odstępstwa odlewu od wymagań jakie stawia rysunek wykonawczy, warunków technicznych odbioru oraz obowiązujących norm nazywamy wadą.

Do głównych czynników wpływających na powstawanie wad w odlewach zalicza się:

1. Temperaturę krzepnięcia i zachowanie się tworzywa odlewniczego podczas krzepnięcia, np.: lejność, typ morfologii krzepnięcia.
2. Wymiary i geometria odlewu, np.: różnice grubości ścianek, położenie odlewu w formie, skurcz hamowany.
3. Warunki schładzania, np.: prędkość odprowadzania ciepła.
4. Właściwości materiałów formierskich, np.: wilgoć, przepuszczalność.

Ogólny podział wad, związany pod względem przydatności odlewu obejmuje:

- *wady dopuszczalne* – wady, które w konfrontacji z wymaganiami odbioru mogą być pozostawione bez naprawy,
- *wady usuwalne* – wady, które powinny być usunięte przez inne dodatkowe operacje naprawcze. Sposoby naprawy wad odlewu są różne. Wybór ich zależy od rodzaju wady usuwalnej lub naprawialnej, np.: za pomocą zabiegów ślusarskich, spawalniczych lub innych,
- *wady powodujące zabrakowanie odlewu* – wady, których naprawa jest niemożliwa lub nieopłacalna. Odlewy z tego typu wadami wykorzystywane są w odlewni jako złom obiegowy.

Stąd też w procesie wytwarzania odlewów wskazane jest wprowadzenie kontroli międzyoperacyjnej, której zadaniem jest ujawnianie błędów i korygowanie ich na bieżąco. Wprowadzenie takiego systemu kontroli znacznie ogranicza możliwości przypadkowych wad, ale nie eliminuje ich całkowicie.

W przypadkach odlewów odpowiedzialnych wykonuje się kontrolne badania odbiorcze metodami nieniszczącymi, a ich celem jest ujawnienie obecności, położenia i wymiarów ewentualnych wad odlewniczych. Badania końcowe odlewów sprowadza się najczęściej do sprawdzenia masy, wymiarów, składu chemicznego, własności wytrzymałościowych oraz struktury.

Wady odlewnicze dzielą się na następujące grupy:

1. Wady kształtu, np.: niedolew, przestawienie, guz, wypaczenie itp.
2. Wady powierzchni surowej, np.: chropowatość, ospowatość, strup, nakłucia, rakowatość, zanieczyszczenie, fałda itp.
3. Przerwy nieciągłości, np.: pęknięcia na gorąco, pęknięcia na zimno, naderwania, pęknięcia żarzeniowe i inne.
4. Wady wewnętrzne, np.: porowatość, pęcherz, zażuzlenie, rzadzizny, zapiaszczenie, gruboziarnistość, niejednorodność itp.

W praktyce w badaniach kontrolnych odlewów najczęściej stosowane są następujące metody badań nieniszczących:

- radiograficzne promieniami X lub gamma (RT),
- ultradźwiękowe (UT),
- magnetyczne (MT),
- penetracyjne (PT).

Podstawy bhp w procesach odlewniczych

Uwzględniając charakter procesu technologicznego wytwarzania odlewów (sporządzanie mas formierskich i rdzeniowych) oraz warunków eksploatacji urządzeń odlewniczych (np.: piece do topienia, maszyny odlewnicze), praca w odlewniach musu być podporządkowana szczególnym uwarunkowaniom oraz przepisom bhp.

Do czynników szkodliwych występujących w odlewniach zalicza się: pył krzemowy powstający przy wyrobie mas formierskich, gazy i pary powstające przy topieniu metali oraz gazów ze spoiw podczas suszenia i zalewania form. Proces zalewania form odbywa się w temperaturach powyżej topnienia stopów, co stwarza zagrożenia poparzeniem, promieniowaniem cieplnym oraz promieniowaniem podczerwonym (IR). W otoczeniu pieców indukcyjnych występuje silne pole elektromagnetyczne. Praca maszyn odlewniczych, wybijanie form i rdzeni powoduje także zbyt duży hałas.

Najczęstszymi chorobami zawodowymi występującymi wśród pracowników w odlewniach są: schorzenia dróg oddechowych (m. in. krzemica), schorzenia układu ruchu (reumatyzm), schorzenia układu krążenia (choroby serca) oraz schorzenia skóry i wzroku. Natomiast najczęstsze wypadki zdarzają się przy przenoszeniu i przewożeniu ciężarów, a następną grupą wypadków są poparzenia ciekłym metalem lub żużlem.

W związku z tym należy dołożyć wszelkich starań do stworzenia właściwych warunków pracy poprzez:

1. Dobrze zorganizowanego transportu:
 - rozplanowanie dróg transportowych (swoboda poruszania się),
 - ustalenie wielkości i kształtu powierzchni produkcyjnych i powierzchni rezerw produkcyjnych.
2. Zmniejszenie zapylenia:
 - hermetyzacja procesów z wychwytywaniem pyłów, gazów w miejscach ich powstawania,
 - stosowanie skutecznych urządzeń odpylających i wentylacji ogólnej pomieszczeń,
 - doprowadzenie do stanowisk pracy świeżego powietrza,
 - automatyzacja procesów związanych z nadmiernym wydzielaniem czynników szkodliwych,
 - stosowanie sprzętu ochrony osobistej.

3. Ochrona przed promieniowaniem cieplnym i podczerwonym poprzez:
 - stosowanie osłon (ekranów) odbijających promieniowanie,
 - stosowanie nawiewów powietrznych na technologiczne stanowiska robocze,
 - stosowanie indywidualnych środków ochrony osobistej.

Ważną rolę odgrywają również indywidualne środki ochrony osobistej (sprzęt ochrony osobistej), a w szczególności odzież ochronna: rękawice, nakolanniki, specjalne obuwie chroniące stopy przed zmiżdżeniem, okulary (gogle) ochronne, ochraniacze słuchu, kaski ochronne. Obsługa pieca (ładowacz, wytapiacz) oraz obsługa do zalewania form powinna być zaopatrzona w specjalną odzież trudno palną lub ogniotrwałą.

Podstawowe zalecenia bhp w laboratorium

W laboratorium odlewnictwa występują podobne zagrożenia jak w odlewni. Z tego też względu należy zachować następujące środki ostrożności:

1. Przebywanie w zwartej grupie, w miejscu wskazanym przez prowadzącego zajęcia.
2. Wszelkie czynności wykonywane na ćwiczeniach mogą być realizowane według wskazań i pod nadzorem prowadzącego zajęcia.
3. Zabrania się samowolnego oddalania, uruchamiania urządzeń lub innych czynności nie związanych z przebiegiem ćwiczenia.
4. W piecu jest roztopiony metal, który przy przelewaniu lub zalewaniu form może się rozpryskiwać, powodując uszkodzenie odzieży lub poparzenia – nie wykonywać żadnych czynności bez zgody prowadzącego.
5. Piece lub inne urządzenia są zasilane prądem elektrycznym – nie należy dotykać elementów pieca i urządzeń poza wskazanymi przez prowadzącego.
6. Ćwiczenia odbywają się w odzieży ochronnej (fartuchy) oraz w „zamkniętym” obuwiu (osłonięta cała stopa).

Studenci biorący udział w laboratorium odlewnictwa zapoznają się z zasadami bhp na pierwszych zajęciach laboratoryjnych. Zapoznanie się z przepisami i przyjęcie ich do wiadomości potwierdzają własnoręcznie wpisaniem się na listę. Ponadto studenci zobowiązani są do przestrzegania dodatkowych zaleceń podawanych przez prowadzącego.

Zasady odbywania ćwiczeń laboratoryjnych

1. Obecność na ćwiczeniach laboratoryjnych jest obowiązkowa, a w przypadku nieobecności należy uzgodnić z prowadzącym inny termin (lub inną możliwość) zaliczenia.
2. W razie nieobecności spowodowanej okolicznościami obiektywnymi student jest obowiązany ustalić z prowadzącym sposób odrobienia tematu ćwiczeń laboratoryjnych, np. z inną grupą laboratoryjną.
3. Każdego ćwiczącego przed rozpoczęciem ćwiczeń laboratoryjnych obowiązuje znajomość teoretyczna materiału wiążącego się z bieżącym tematem ćwiczenia.
4. Zajęcia laboratoryjne rozpoczynają się sprawdzianem wiadomości z bieżącego tematu w formie pisemnej lub ustnych odpowiedzi.
5. Każdego studenta obowiązuje czynny udział w przebiegu ćwiczenia, udokumentowany własnymi notatkami i szkicami oraz tablicami stanowiącymi materiał do opracowania sprawozdania.
6. Z każdych ćwiczeń student jest obowiązany wykonać samodzielnie sprawozdanie według ustalonego wzoru i zaliczyć je na najbliższych (następnych) ćwiczeniach.
7. Zaliczenie ćwiczeń laboratoryjnych następuje na podstawie przyjętych sprawozdań, sprawdzianów oraz ewentualnie zastępczych kolokwii.
8. Każdego uczestnika ćwiczeń laboratoryjnych obowiązują zasady bezpieczeństwa podczas odbywania ćwiczeń laboratoryjnych, które zostały przedstawione na pierwszym spotkaniu.
9. Studenci zobowiązani są do przestrzegania dodatkowych zaleceń zamieszczonych w przepisach szczegółowych oraz podawanych przez prowadzącego w trakcie ćwiczeń.
10. Wzór sprawozdania:

1) wzór tabelki

Politechnika Koszalińska	LABORATORIUM z ODLEWNICTWA			
/nazwisko, imię/	Temat: /ćwiczenia/			
	/grupa/	/specjalność/	/semestr/	/data/

2) skrócony przykład treści sprawozdania:

Dokładny opis części praktycznej ćwiczenia z podaniem niżej danych:

- rodzaje materiałów i ich charakterystyki,
- oprzyrządowanie stanowiska,
- metodyka, technologia wykonania procesu itp.,
- wyniki pomiarów, szkice, rysunki, obliczenia,
- wnioski.

1. Dokumentacja technologiczna odlewu

1.1. Wstęp

Podstawową zasadą projektowania odlewów powinno być założenie wielkości produkcji przy możliwie jak najmniejszym nakładzie pracy, kosztów oraz spełnienia warunków przewidywanych w zastosowaniu odlewu.

Wybór technologii wykonania odlewu jest dość trudny, ponieważ takie same jakościowo odlewy, można otrzymywać przez zastosowanie różnych metod formowania i odlewania, co wiąże się również z przygotowaniem i uruchomieniem produkcji. Stąd też przygotowanie produkcji musi być poprzedzone wykonaniem następujących zadań:

1. Analiza technologiczności konstrukcji odlewu w aspekcie zagadnień związanych z rodzajem tworzywa odlewniczego, z wymiarami gabarytowymi odlewu, kształtem, grubościami ścianek i innymi czynnikami dotyczącymi wymagań jakościowych odlewu (np.: tolerancje wymiarowe, chropowatość powierzchni itp.). Jest to zagadnienie bardzo ważne, ponieważ rzutuje to w sposób istotny na następne fazy procesu. Analiza ta obejmuje następujące zagadnienia:
 - 1) czy koncepcja konstrukcji jest słuszna,
 - 2) czy odpowiada tworzywo odlewnicze warunkom wytrzymałości w warunkach użytkowania (eksploatacji),
 - 3) czy istnieje możliwość łatwego wykonania formy oraz poprawne wypełnienie jej tworzywem odlewniczym,
 - 4) czy istnieje możliwość uniknięcia powstawania wad odlewniczych (jamy skurczowe, naprężenia i pęknięcia).
2. Opracowanie rysunku surowego odlewu, a w przypadkach koniecznych koncepcji technologicznej odlewu.
3. Opracowanie techniczno – ekonomiczne projektu procesu formowania i wykonania rdzeni łącznie z rysunkiem formy odlewniczej (jednorazowych, trwałych).
4. Opracowanie projektu technicznego budowy oprzyrządowania modelowego (modele, płyty podmodelowe, rdzennice), form metalowych łącznie z procesem technologicznym ich wykonania.
5. Ustalenie procesu wytapiania tworzywa odlewniczego, przygotowania materiałów wsadowych oraz sterowania procesem jego pozyskania.
6. Zaprojektowanie procesu wykonania mas formierskich i rdzeniowych.
7. Opracowanie procesu obróbki cieplnej odlewów (jeżeli zachodzi taka konieczność).

8. Zestawienie dokumentacji technologicznej odlewu wg kryteriów:
- dokumentacji ściśle związanej z wykonaniem odlewu,
 - dokumentacji niezależnej od wykonania odlewu, np. dokumentację przygotowania mas formierskich i rdzeniowych oraz topienia tworzywa odlewniczego.

Przeprowadzenie takiej analizy, jak i wybór optymalnej koncepcji odlewania wymaga dużej wiedzy inżynierskiej, doświadczenia i dobrej wyobraźni przestrzennej. Aktualnie w nowocześnie wyposażonych biurach konstrukcyjnych analizy technologiczne wspomagane są programami komputerowymi w zakresie szybkiego wykonywania prototypów odlewów, modeli oraz rdzeni i rdzennic, np.: CAD, RP (Rapid Prototyping System) i inne.

Zastosowanie programów komputerowych stwarza nowe możliwości nie tylko w samym projektowaniu odlewu, ale również w modelowaniu i symulacji procesów odlewniczych, np.: metoda różnic skończonych (MRS), metoda elementów skończonych (MES), metoda elementów brzegowych (MEB) oraz programy do zarządzania dokumentacją w odlewni, np.: program Euclid Design Manager, który jest skonfigurowany z systemem CAD/CAM.

1.2. Rodzaje dokumentacji odlewniczej

W skład dokumentacji odlewniczej mogą wchodzić następujące dokumenty, których zawartość zależy od stopnia skomplikowania konstrukcji odlewu, sposobu odlewania, oraz wielkości serii produkcji.

1. Rysunek konstrukcyjny (wykonawczy) części odlewanej, opracowany przez konstruktora zgodnie z zasadami i normami dotyczącymi rysunku technicznego maszynowego wraz z wymaganiami w stosunku do części gotowej.
2. Rysunek koncepcji sposobu odlewania.
3. Rysunek surowego odlewu.
4. Rysunki konstrukcyjne oprzyrządowania (modeli, rdzennic, matryc oraz innego oprzyrządowania pomocniczego).
5. Szkic rozmieszczenia odlewów w formie.
6. Rysunek formy odlewniczej - złożeniowy i jej detali.
7. Karty technologiczne odlewów, form jednorazowych, rdzeni, modeli jednorazowych.
8. Schematy przebiegu procesu technologicznego, stanowiące uzupełnienie kart technologicznych.
9. Karty kalkulacyjne z wyliczeniem chronometrażu wykonywania operacji.
10. Karty instrukcyjne dla poszczególnych operacji, zawierające szczegółowe objaśnienia sposobu wykonania poszczególnych czynności.

11. Plany kontroli wyrobów finalnych (odlewów) oraz innych, tj. materiałów metalowych i formierskich, form odlewniczych i ich elementów.

1.3. Rysunek surowego odlewu

Podstawą do opracowania rysunku surowego odlewu jest rysunek konstrukcyjny (wykonawczy) części odlewanej (rys. 1.1), czyli opracowany przez konstruktora zgodnie z regułami rysunku technicznego maszynowego oraz ze wszelkimi wymaganiami w stosunku do części gotowej. Wyróżnia się dwie wersje rysunku surowego odlewu:

- rysunek surowego odlewu uproszczony,
- rysunek surowego odlewu pełny.

Rysunek surowego odlewu stanowi powtórzenie rysunku konstrukcyjnego z naniesieniem oznaczeń odlewniczych i zmian wynikających z analizy technologiczności konstrukcji odlewu dla przyjętej technologii odlewania.

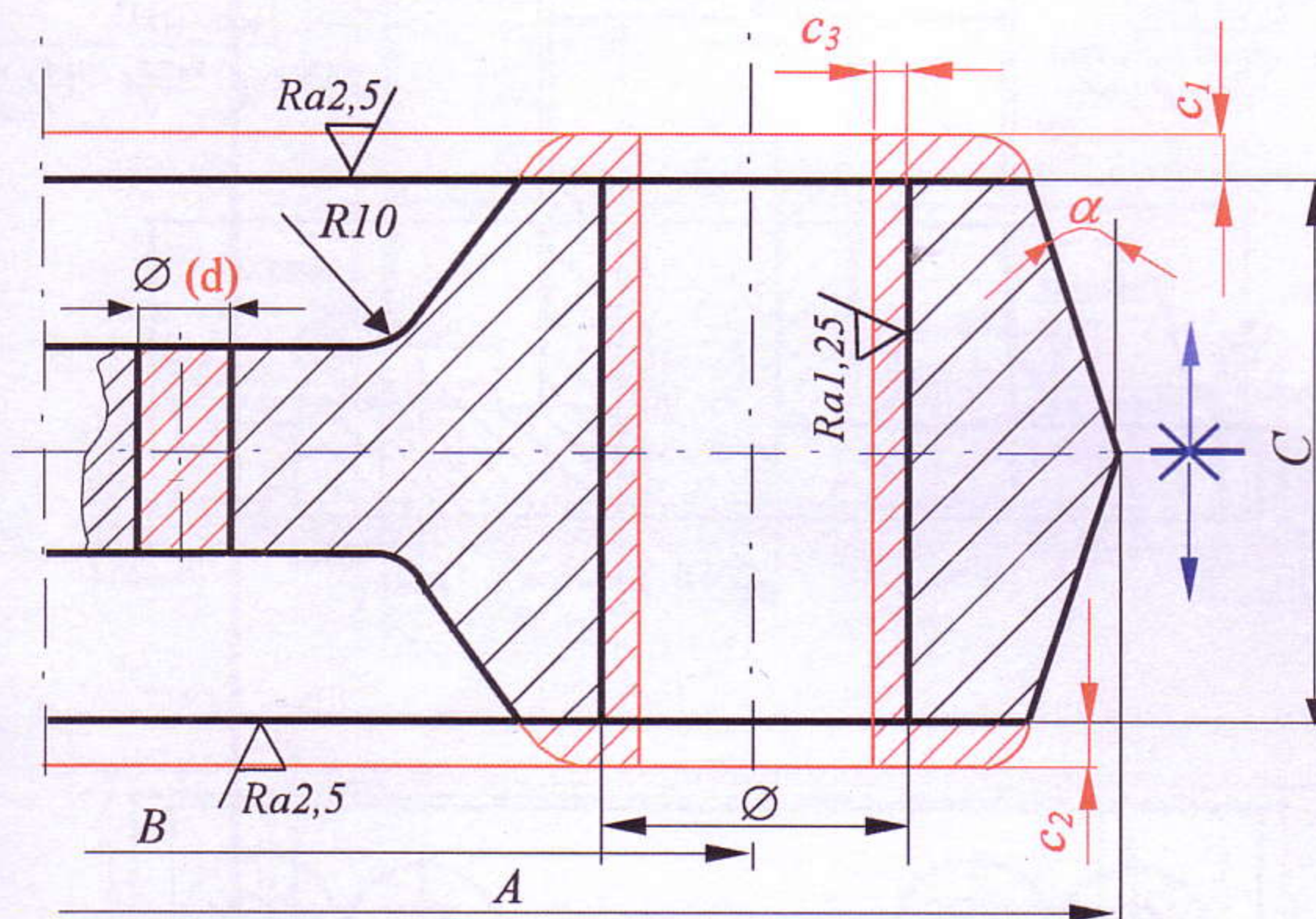
1.3.1. Rysunek surowego odlewu w wersji uproszczonej

Rysunek surowego odlewu w wersji uproszczonej wykonuje się na kopii (odbitce) rysunku konstrukcyjnego przedmiotu odlewane go poprzez naniesienie w kolorach wszelkich niezbędnych oznaczeń odlewniczych (rys. 1.2):

1. Kolorem czerwonym:
 - naddatki technologiczne oraz naddatki na obróbkę,
 - linie wymiarowe, wartości opisowe itp.,
 - krótki odcinek(i) wlewu doprowadzającego (WD).
2. Kolorem niebieskim:
 - powierzchnię (powierzchnie) podziału,
 - rdzenie, rdzenniki - dotyczy koncepcji technologicznej.
3. Kolorem zielonym - ochładzalniki na rysunku koncepcji technologicznej.

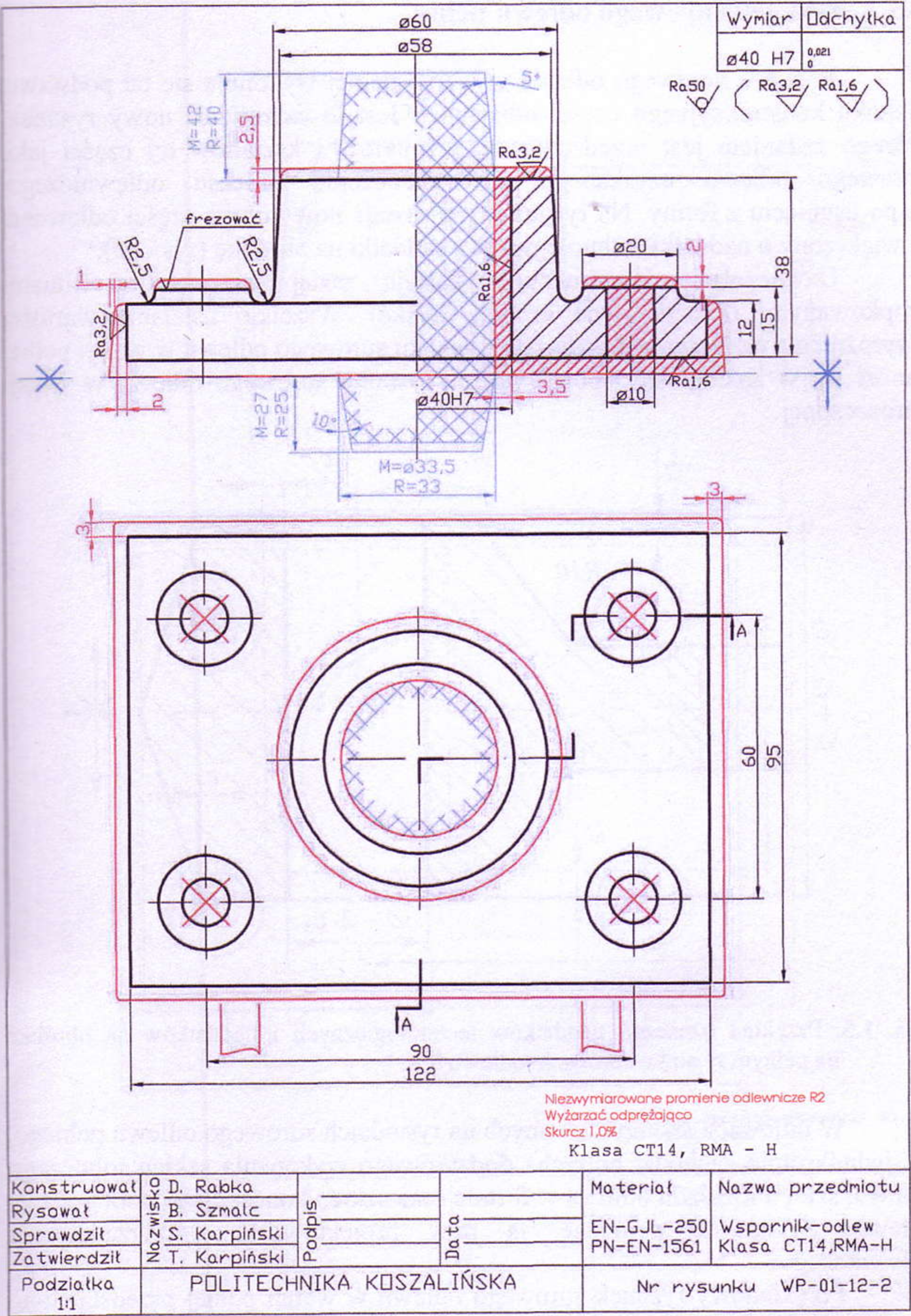
Ze względu, że rysunek surowego odlewu w wersji uproszczonej może służyć do opracowania procesu obróbki skrawaniem, to naniesione kolorowe oznaczenia nie mogą zaciemniać żadnych oznaczeń z rysunku konstrukcyjnego części odlewanej. Należy pozostawić czytelne wszystkie wymiary, tolerancje wymiarów oraz kształtu i położenia, oznaczenia chropowatości oraz inne, poprzez przerwanie kreskowania, linii konturowych czy też wymiarowych.

Rysunek tego typu może być jednocześnie wstępną częścią do sporządzenia na tej samej kopii rysunku koncepcji technologicznej (rys. 1.4).



Rys.1.2. Przykład oznaczeń naddatków technologicznych i naddatków na obróbkę na rysunku uproszczonym surowego odlewu: C_1 – naddatek na obróbkę skrawaniem dla powierzchni górnej, C_2 – naddatek na obróbkę dla powierzchni dolnej, C_3 – naddatek na obróbkę dla powierzchni otworu, $\phi(d)$ – wypełnienie otworu, — — — — — linia powierzchni podział α – pochylenie odlewnicze (zbieżność)

Przykład rysunku surowego odlewu w wersji uproszczonej przedstawiono na rys. 1.3.

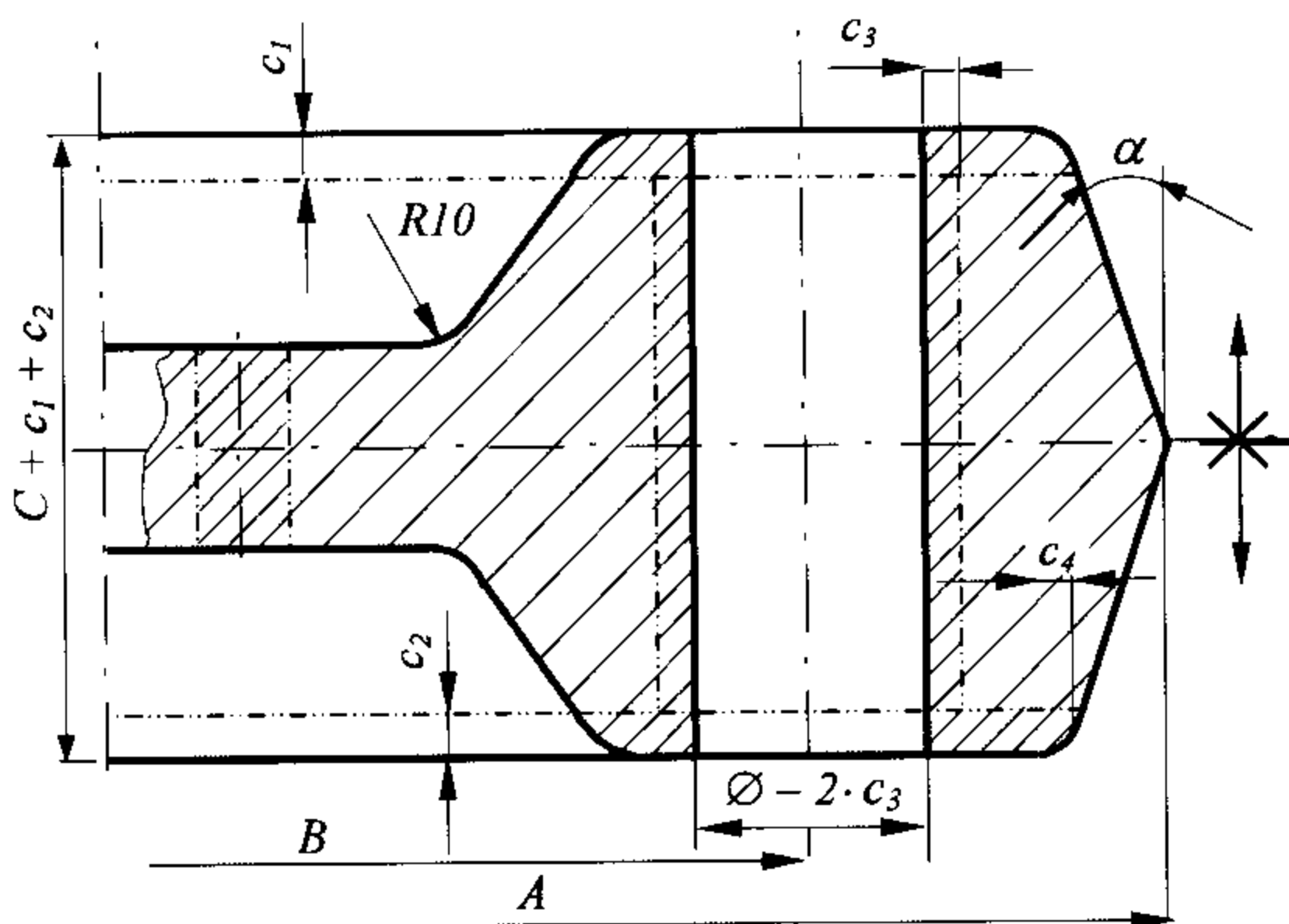


Rys. 1.4. Rysunek koncepcji technologicznej odlewu

1.3.2. Rysunek surowego odlewu pełny

Rysunek surowego odlewu w wersji pełnej wykonuje się na podstawie rysunku konstrukcyjnego części odlewanej. Jest to całkowicie nowy rysunek, którego zadaniem jest przedstawienie wymiarów i kształtów tej części jako gotowego odlewu uzyskanego po zakończeniu procesu odlewniczego, tj. po usunięciu z formy. Na rysunku tym zostaje nowy obrys części odlewanej powiększony o naddatki technologiczne i naddatki na obróbkę (rys. 1.5).

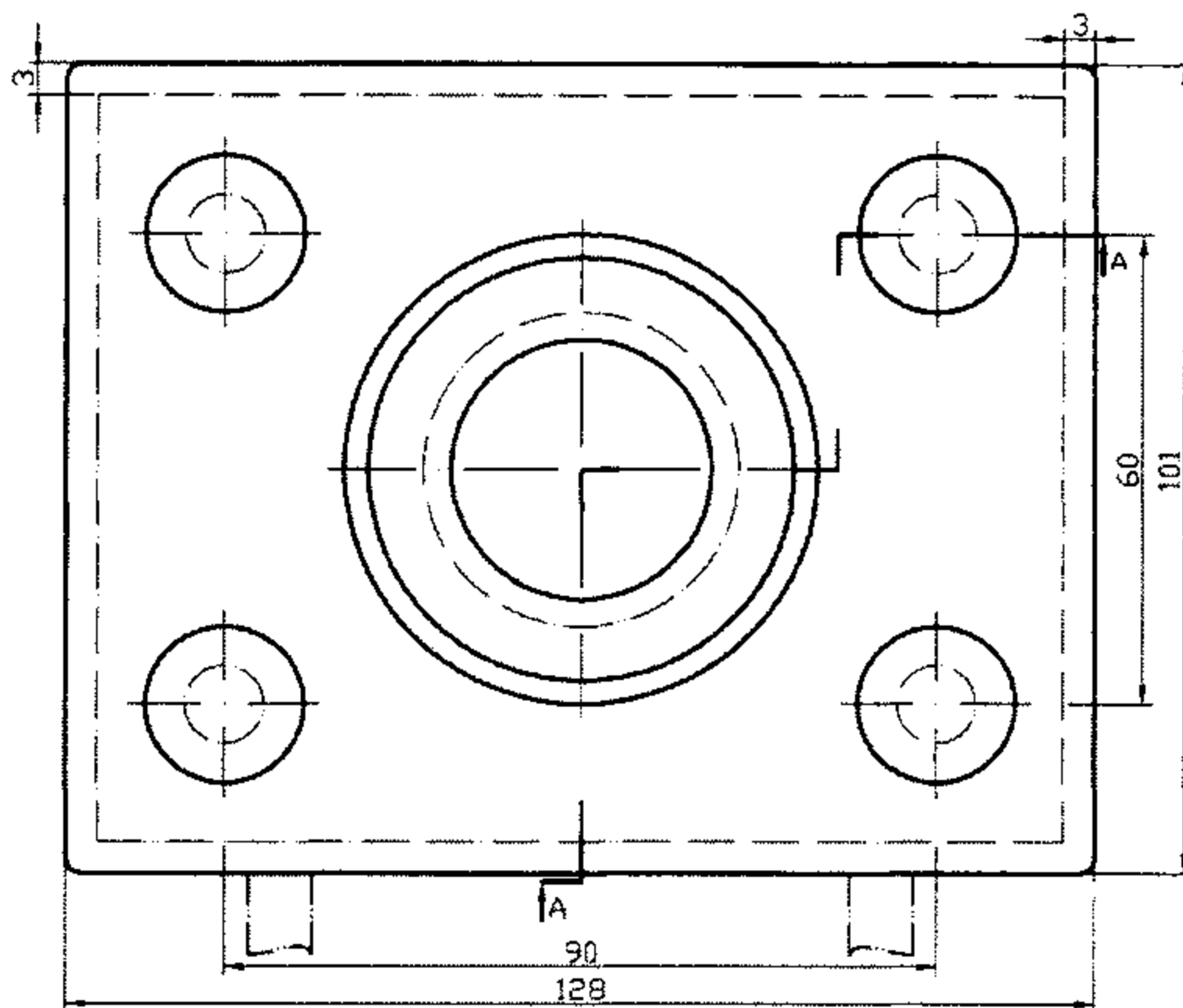
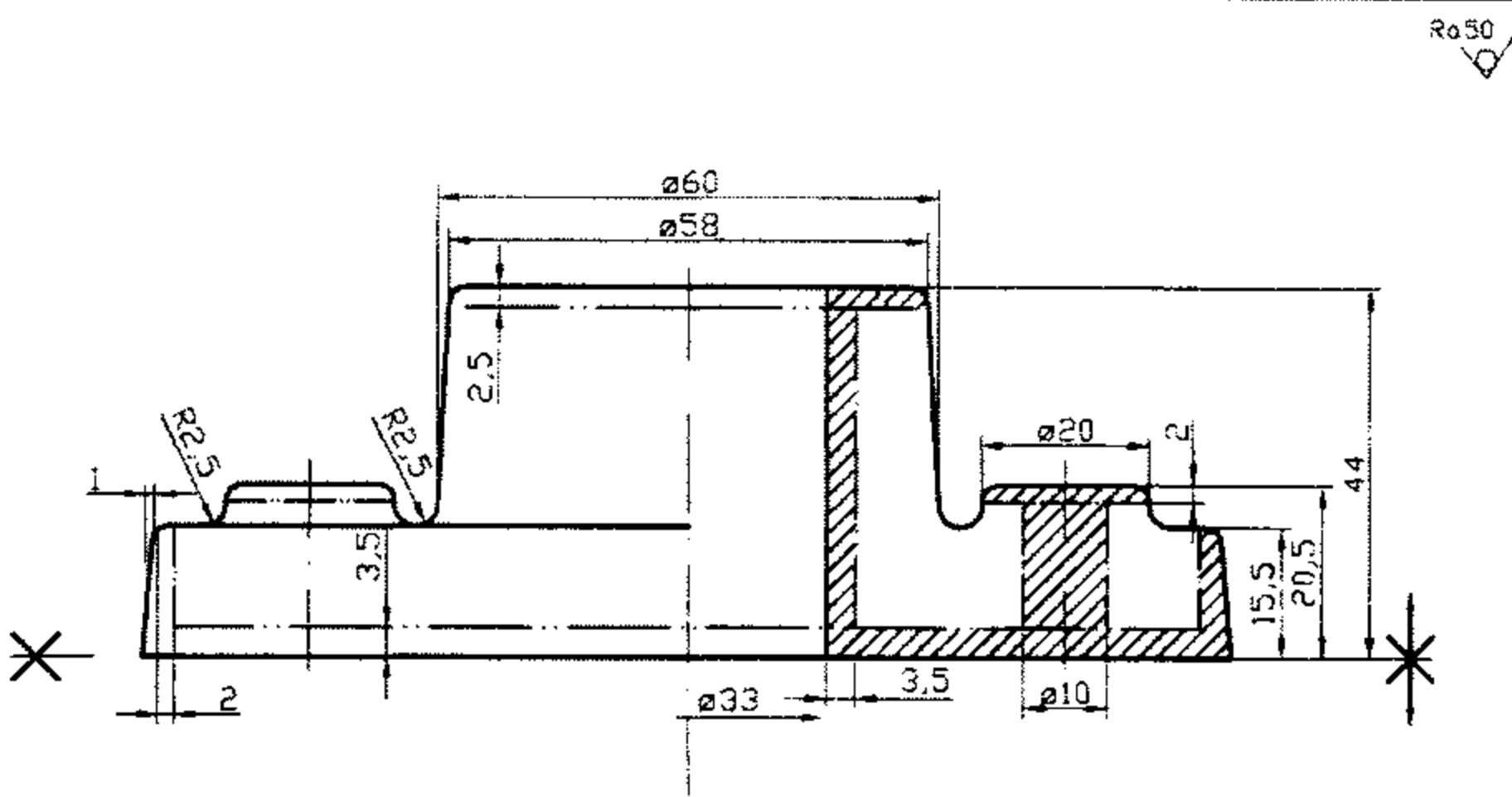
Dawne linie konstrukcyjne zostają zastąpione cienkimi liniami kropkowanymi (kreska, dwie kropki, kreska). Wszelkie ustalanie wartości i wyróżnienia oznaczeń odlewniczych rysunku surowego odlewu w wersji pełnej nanosi się w analogiczny sposób jak na rysunku surowego odlewu w wersji uproszczonej.



Rys. 1.5. Przykład oznaczeń naddatków technologicznych i naddatków na obróbkę na pełnym rysunku surowego odlewu

W odlewach skomplikowanych na rysunkach surowego odlewu pełnego, nie jednokrotnie zachodzi potrzeba dodatkowego wykonania szkicu roboczego odlewu, szkicu rozkładu odlewu w formie oraz szkicu koncepcji technologicznej odlewu. Szkice te pomocne są przy projektowaniu oprzyrządowania odlewniczego.

Przykładowy rysunek surowego odlewu w wersji pełnej przedstawiono na rys. 1.6.



Niezwymiarowane promienie odlewnicze R2
Wyzarzać odpowiadająco

Konstruował	D. Rabka	Podpis	Data	Materiał	Nazwa przedmiotu
Rysował	B. Szmalc				
Sprawdził	S. Karpiński				
Zatwierdził	T. Karpiński				
Podziałka 1:1	POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA			Nr rysunku WP-01-12-3	

Rys. 1.6. Rysunek surowego odlewu w wersji pełnej

1.4. Oznaczenia odlewnicze na rysunkach surowego odlewu

Rysunek surowego odlewu powinien zawierać następujące oznaczenia odlewnicze:

1. Dane rozpoznawcze, umieszczone w tabliczce znamionowej, zawierające:
 - nazwę odlewu (nazwa rysunku gotowej części uzupełnionej dodatkowo słowem „odlew”,
 - numer rysunku (numer rysunku wykonawczego części),
 - rodzaj tworzywa odlewniczego,
 - klasę dokładności odlewu,
 - chropowatość powierzchni odlewu.
2. Wymiary odlewu.
3. Odchyłki wymiarowe odbiegające od normy dla przyjętej klasy odlewu.
4. Wielkość naddatków na obróbkę skrawaniem.
5. Powierzchnię podziału formy, wyznaczającą jednocześnie powierzchnię podziału modelu.
6. Naddatki technologiczne:
 - pochylenia i zbieżności ścian odlewu.
 - wypełnienia wnęk i otworów, które odlewa się jako pełne,
 - promienie zaokrąglenia i wyokrąglenia (promienie odlewnicze),
 - dodatkowe nadlewki służące do uchwycenia przedmiotu podczas obróbki,
 - łączniki zabezpieczające odlew przed odkształceniem wskutek skurczu podczas krzepnięcia, żebra skurczowe zapobiegające pękaniu odlewów przy stygnięciu odlewów, jeżeli łącznik lub żebro ma być w gotowym wyrobie wycięte, należy na rysunku napisać objaśnienie, np. „żebro wyciąć po obróbce cieplnej”,
 - nadlewy.
8. Dane dotyczące specjalnych wymagań stawianych odlewom, np. rodzaj obróbki cieplnej, twardości, miejsce i sposób cechowania itp.
9. Układ wlewowy – miejsce usytuowania wlewu doprowadzającego, po jego uprzednim obliczeniu.

Rysunek surowego odlewu wykonuje się według normalnych zasad rysunku technicznego, a odlew powinno przedstawiać się w położeniu zalewania.

Wybrane przykłady oznaczeń odlewniczych na rysunkach surowego odlewu przedstawia tablica 1.1.

Tablica 1.1. Wybrane przykłady oznaczeń na rysunkach surowego odlewu

Lp.	Nazwa	Oznaczenie na rysunku odlewniczym pełnym surowego odlewu	Oznaczenie na rysunku odlewniczym uproszczonym surowego odlewu
1.	Powierzchnia podziału formy		
2.	Łącznik zabezpieczający odlew przed deformacją		
3.	Naddatek na obróbkę skrawaniem		
4.	Wypełnianie otworów i wnęk		
5.	Pochylenia formierskie		
6.	Nadlewki służące do uchwycenia przedmiotu przy obróbce		
7.	Żebra usztywniające		
8.	Próbki przyłane do badań właściwości mechanicznych		

1.4.1. Powierzchnia podziału

Przy wyborze powierzchni podziału formy należy wziąć pod uwagę niżej wymienione wskazówki:

1. Łatwe wyjęcie modelu z formy (lub odlewu z kokili), powierzchnia ta powinna być identyczna z powierzchnią podziału modelu lub równoległa do niej.
2. Powierzchnia podziału powinna przechodzić przez największy przekrój modelu i odlewu.
3. Jeżeli można wyznaczyć dwie lub więcej powierzchni podziału, to należy przyjąć model niedzielony.
4. Dążyć do umieszczenia największej masy odlewu w dolnej skrzynce.
5. Przy wyborze sposobów formowania należy na ogół wybrać ten sposób, przy którym będzie potrzebna najmniejsza liczba rdzeni.
6. Przekroje odlewu powinny narastać od dołu do górnej skrzynki.
7. Powierzchnie odpowiedzialne i bazy do pierwszej operacji obróbki powinny być usytuowane w dolnej części formy. Dążyć, aby te powierzchnie do końca były nie obrabiane. W szczególnych przypadkach można przyjąć powierzchnie pionowe lub pochyłe.

Ustalenie właściwego sposobu formowania i odlewania, czyli ustalenie powierzchni podziału ma decydujący wpływ na wybór metody formowania, rodzaj modelu oraz na jakość odlewu i ekonomiczność procesu.

1.4.2. Naddatki na obróbkę

Na rysunku konstrukcyjnym przedmiotu powierzchnie obrabiane oznacza się znakami obróbki mechanicznej. Stąd też na tych powierzchniach rysunku surowego odlewu należy przewidzieć odpowiedni naddatek na obróbkę mechaniczną. Dla naddatków na obróbkę mechaniczną dla powierzchni górnych, otworów oraz wnek wielkość naddatków można zwiększyć do 50% ze względu na możliwość powstania wad powierzchniowych.

Wielkości naddatków dla odlewów są uzależnione od rodzaju tworzywa odlewniczego, stopnia naddatków (RMA), największego wymiaru gabarytowego odlewu, położenia powierzchni w formie.

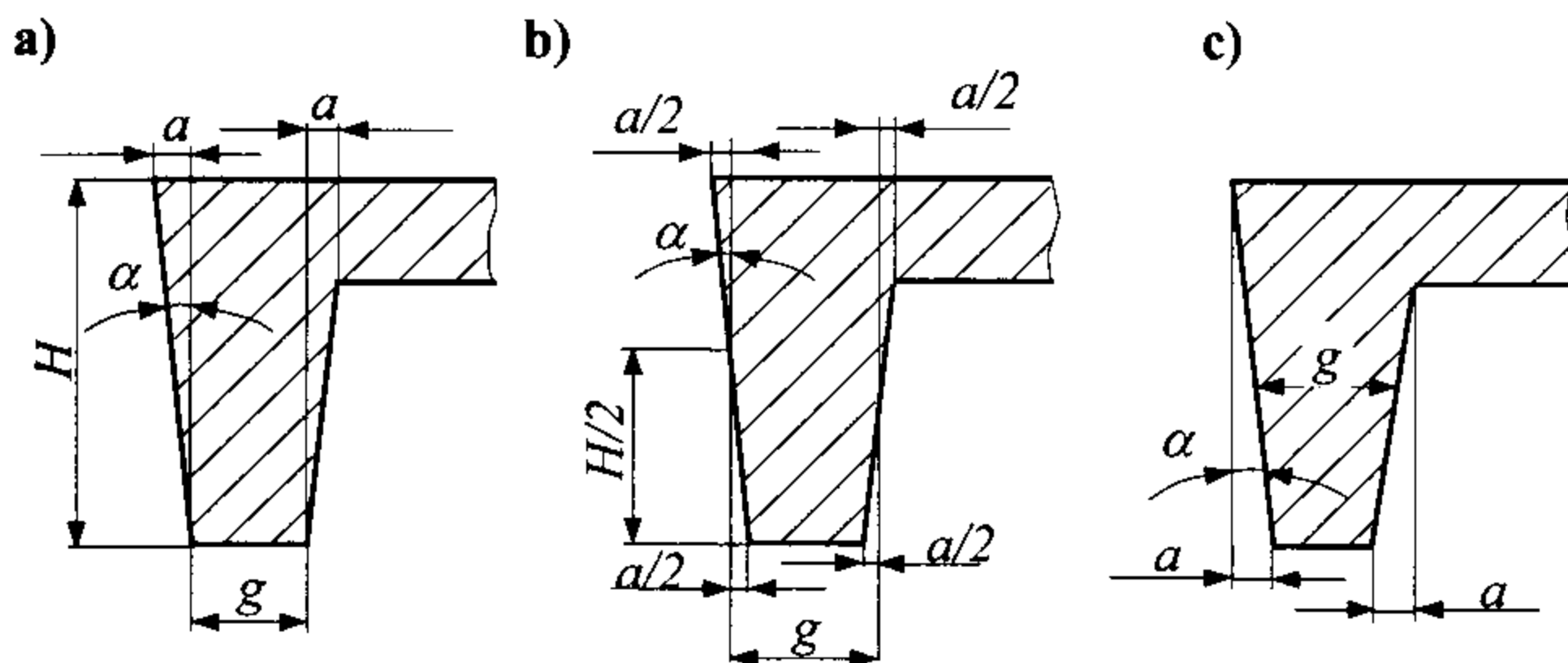
1.4.3. Naddatki technologiczne

1.4.3.1. Pochylenia odlewnicze (zbieżności)

Aby ułatwić wyjmowanie modeli z formy, rdzeni z rdzennic oraz odlewów z form trwałych (kokili), powierzchniom pionowym do powierzchni podziału, nadaje się pochylenia (zbieżności) odlewnicze (rys. 1.7).

Stosuje się trzy rodzaje pochyłeń odlewniczych:

- pochylenia dodatnie (+), stosowane na powierzchniach obrabianych i nie obrabianych dla ścian o grubości do 8 mm (rys. 1.7a),
- pochylenia mieszane (+ -) dla powierzchni nie obrabianych o grubości ścian od 8 do 12 mm (rys. 1.7b),
- pochylenia ujemne (-) stosowane tylko na powierzchniach nie obrabianych o grubościach ścian powyżej 12 mm (rys. 1.7c).



Rys. 1.7. Rodzaje pochyłeń odlewniczych

Pochylenia należy ustalać po wybraniu powierzchni podziału formy, gdyż zależą one od kierunku wyjmowania modelu lub odlewu z kokili.

Przy projektowaniu odlewów należy przyjąć zasadę, że dla powierzchni nie obrabianych, pochylenia powinny być już ustalone na rysunku konstrukcyjnym. Dla wymiarów tolerowanych w odlewach nie obrabianych należy przyjąć takie pochylenia, aby ich wartości mieściły się w założonych granicach tolerancji.

Wielkość pochylenia odlewniczego należy dobierać w zależności od:

- rodzaju tworzywa użytego na model,
- rodzaju form odlewniczych.

1.4.3.2. Wypełnienia otworów i wnęk

Wypełnienia wnęk i otworów (otwory lub wnęki nie będą odwzorowane rdzeniem) stosuje się w odlewach jako pełne „odlane”, które dopiero później będą wykonane obróbką skrawaniem w surowym odlewie.

Przy ustalaniu wypełnienia otworów i wnęk bierze się pod uwagę (tablica 1.2; 1.3; 1.4):

- rodzaj tworzywa odlewniczego,
- metodę odlewania i sposób formowania,
- średnicę otworu,
- grubość ścianki odlewu (długość otworu),
- wielkość produkcji.

Tablica 1.2. Średnice otworów dla żeliw w odlewach piaskowych

Otwory wykonane na gotowo	Grubość ścianki odlewu [mm]	6 ÷ 10	20 ÷ 30	40 ÷ 50
	Średnica odlewanego otworu [mm]	6 ÷ 10	10 ÷ 15	12 ÷ 18
Otwory odlewane do obróbki skrawaniem	Produkcja masowa	20		
	Produkcja seryjna	30		
	Produkcja jednostkowa	50		

Tablica 1.3. Średnice otworów dla odlewów staliwnych

Wielkość produkcji	Średnica odlewanego otworu [mm]
Produkcja seryjna, masowa	powyżej 30
Produkcja jednostkowa	powyżej 50

Tablica 1.4. Średnice otworów dla odlewów ze stopów aluminium, cynku, magnezu

Średnica otworu D [mm]	Maksymalna długość otworu w wykonywanym odlewie	
	w formie piaskowej	w kokili
6 ÷ 12	2D	4D
12 ÷ 18	4D	6D
powyżej 18	8D	8D

1.4.3.3. Nadlewki służące do uchwycenia odlewu przy obróbce mechanicznej

Nadlewek do uchwycenia przedmiotu przy obróbce, np. dla odlewu tulei umożliwia wykonanie całej obróbki przedmiotu na tokarce przy jednym zamocowaniu. Ostatnią czynnością jest odcięcie nadlewka.

1.4.3.4. Żebra usztywniające i łączniki zabezpieczające odlew przed odkształceniem i pękaniem

Żebra skurczowe i łączniki w odlewie stosuje się w celu zabezpieczenia go przed odkształceniem i pękaniem wskutek powstającego skurczu przy krzepnięciu i stygnięciu odlewu do temperatury otoczenia. Jeżeli żebro lub łącznik ma być w odlewie gotowym usunięte lub nie, to należy to zapisać na rysunku surowego odlewu w postaci objaśnienia, np. „nie wycinać”, „łącznik wyciąć po obróbce cieplnej”.

1.4.4. Promienie zaokrągleń i wyokrągleń

Promienie zaokrągleń (R_z) odnoszą się do przejść między powierzchniami odlewów ze stopów żelaza i metali nieżelaznych wykonanych w formach piaskowych oraz dla odlewów z metali nieżelaznych wykonanych pod ciśnieniem. Najmniejsze promienie zaokrągleń dla stopów metali nieżelaznych przedstawia tablica 1.5.

Promienie wyokrągleń (R_w) i promienie krawędzi zewnętrznych powinny mieć wartości zapewniające utrzymanie jednakowej grubości ścianki, co jest bardzo istotne w procesie krzepnięcia odlewu.

Wielkość wyokrągleń dla odlewów ciśnieniowych ustala się według następujących zasad:

- a) dla ścianek o różnej grubości S i S_1 (rys. 1.8) promień wyokrąglenia powinien wynosić:

$$\frac{1}{3}(S + S_1) \leq R_w \leq \frac{2}{3}(S + S_1),$$

- b) dla ścianek o równej grubości S promień wyokrąglenia powinien wynosić:

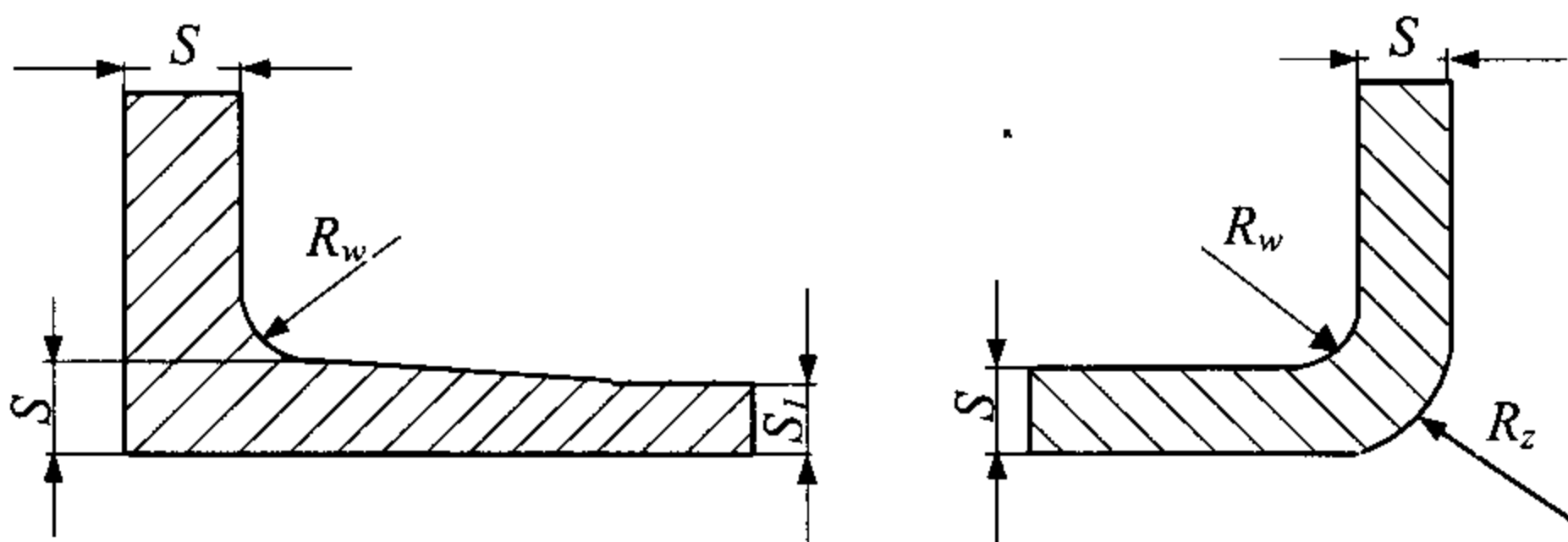
$$\frac{1}{3}S \leq R_w \leq S.$$

Tablica 1.5. Najmniejsza wielkość promienia zewnętrznego R_z w zależności od stopu

Stop	Wielkość R_z [mm]
Zn; Sn; Pb	0,5
Al.; Mg	1,0
Cu	2,0

Wielkość promienia zewnętrznego R_z według rysunku rys. 1.8 niezależnie od grubości ścianek powinna wynosić:

$$R_z \leq R_w + S.$$



Rys. 1.8. Promienie wyokrąglenia i zaokrąglenia w przejściach między powierzchniami ścian odlewu: a) przy różnej grubości ścianek, b) przy jednakowej grubości ścianek

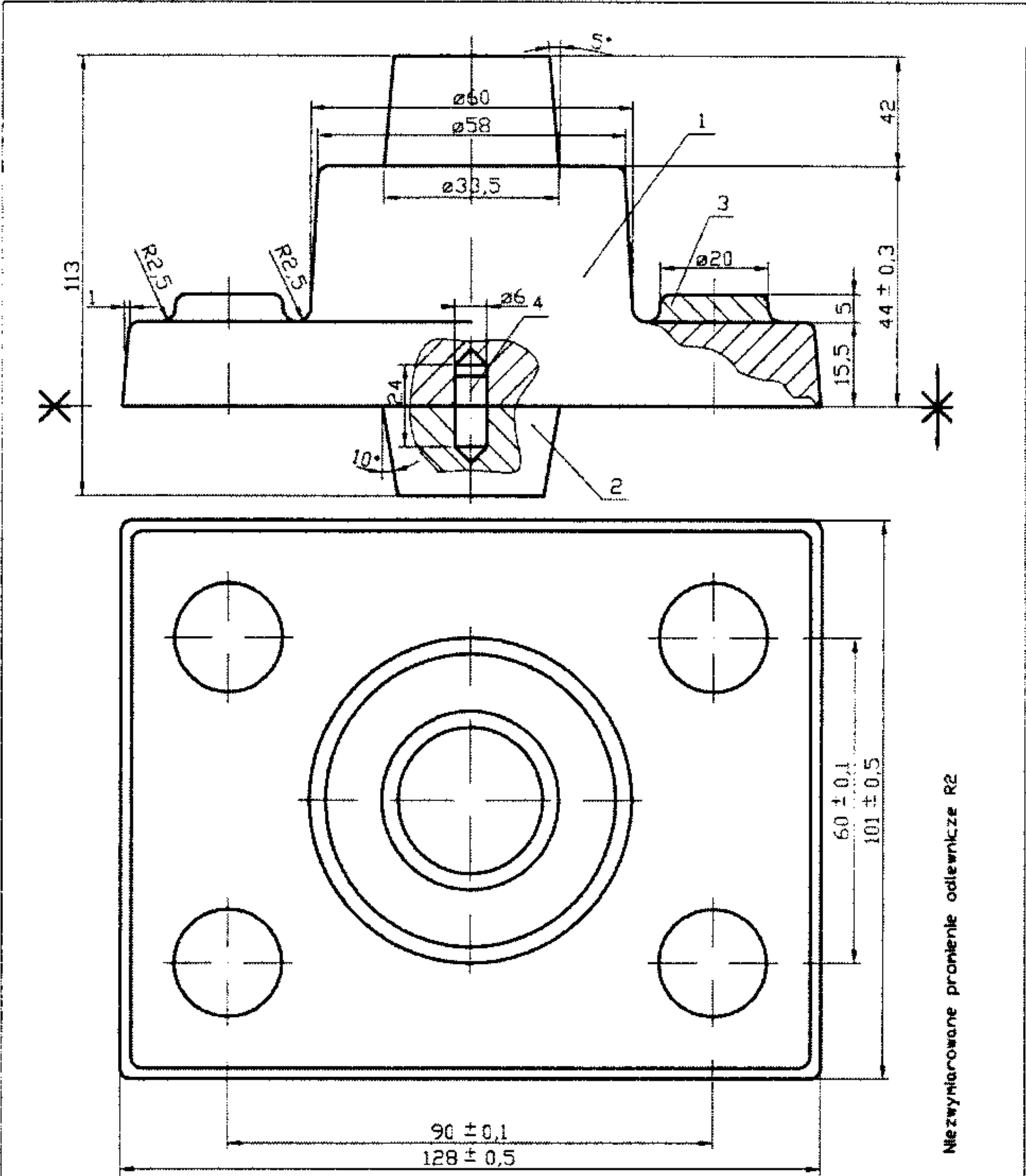
1.5. Modele, rdzennice, rdzenie

Przyrządy stosowane do odwzorowania w formie odlewniczej zewnętrznych kształtów odlewu, nazywane są modelami odlewniczymi. Podstawowe nazwy i określenia poszczególnych części modeli przedstawiono na rys. 1.9, które oznaczają:

- 1) znak rdzeniowy – dodatkowa część modelu, przeznaczona do zaformowania (odwzorowania) w formie odlewniczej gniazda rdzennika. Znaki rdzeniowe powinny mieć odpowiednie wymiary (tablica 1.6 i 1.7), zależnie od średnicy i długości rdzenia oraz jego usytuowania w formie (poziome, pionowe),
- 2) gniazdo rdzennika – odwzorowana przez znak rdzeniowy część formy, na której będzie wspierać się część rdzenia zwana rdzennikiem,
- 3) rdzennik – część rdzenia przeznaczona do ustalenia i utrzymania rdzenia w ściśle wyznaczonym położeniu w formie. O kształcie przekroju rdzennika decyduje kształt części rdzenia odwzorowujący otwór lub wnękę w odlewie.

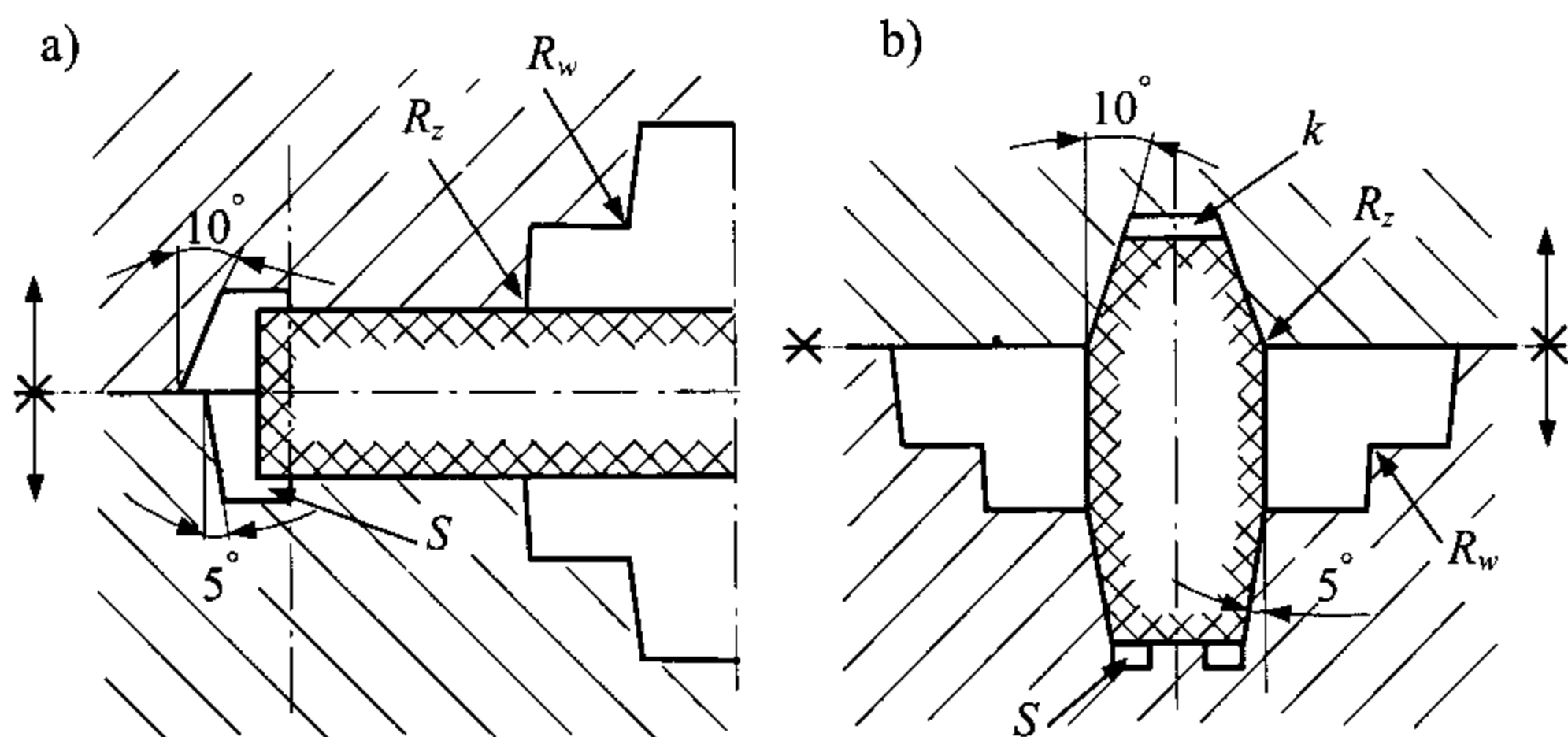
Przed skutkami osypywania się masy formierskiej podczas montażu formy należy w gniazdach rdzennika uwzględnić takie elementy jak (rys. 1.10 i 1.11):

- tzw. śmietniczki (pierścienie zbierające zanieczyszczenia),
- zaokrąglenia krawędzi (R_z),
- wyokrąglenie (R_w),
- luzy (k).

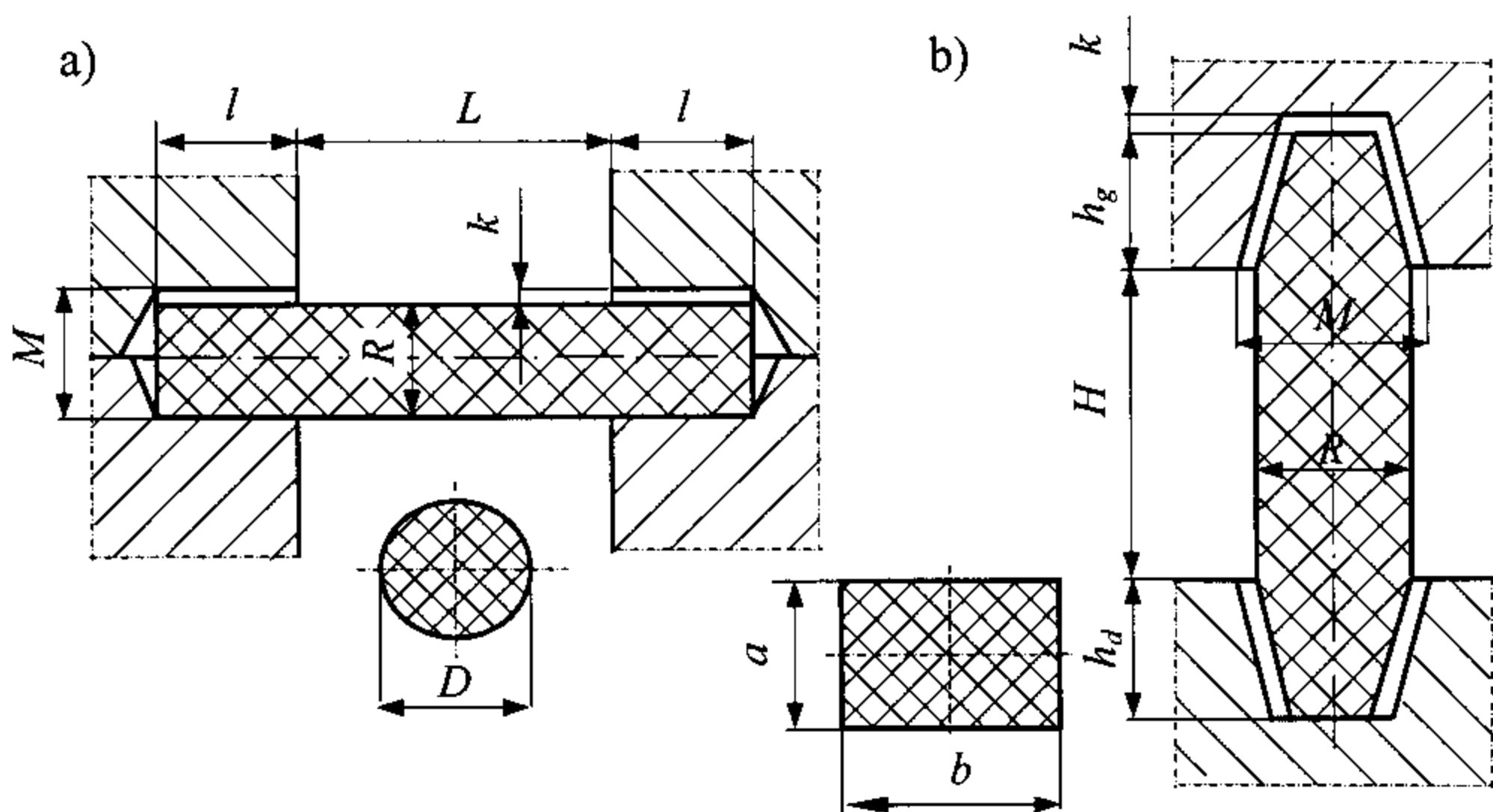


4	Kotek metalowy W12		1			
3	Model M3		4			
2	Model M2		1			
1	Model M1		1			
Poz.	Nazwa części		Szt.	Oznaczenie	Materiał	Uwagi
Konstruował	Nazwisko D. Rabka	Podpis	Data	Materiał drewno -buk	Nazwa przedmiotu Wspornik-odlew model. Skurcz 1,0%	
Rysował	Nazwisko B. Szmalc					
Sprawdził	Nazwisko S. Karpiński					
Zatwierdził	Nazwisko T. Karpiński					
Podziatka 1:1	POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA				Nr rysunku WP-01-12-4	

Rys. 1.9. Rysunek modelu odlewu



Rys. 1.10. Dodatkowe elementy konstrukcji gniazd rdzeniowych: a) z rdzeniem poziomym, b) z rdzeniem pionowym: k – luz, R_z – promień zaokrąglenia, R_w – promień wyokrąglenia, S – śmietniczka



Rys. 1.11. Położenia rdzeni i wymiarowanie znaków rdzeniowych: a) poziome, b) pionowe

Wymiar nominalny rdzenia wynika z rysunku surowego odlewu w miejscu jego przejścia w rdzennik i jest określony:

- dla rdzeni o przekroju okrągłym jako średnica D w mm,
- dla rdzeni o innych przekrojach innych np. prostokątnych, jako średnia arytmetyczna wymiarów.

Ze względu na specyficzne właściwości mas formierskich form i rdzeni pomiędzy rdzennikiem, a jego gniazdem, należy uwzględnić pewien luz, którego wielkość wpływa na dokładność wymiarową odlewu oraz łatwość montażu rdzenia w formie.

Wielkością znaku rdzeniowego jest wymiar rdzennika, powiększony o wielkość luzu ($M > R$, gdyż $M = R + \text{luz}$). Natomiast wielkością znamionowym rdzennika jest wymiar ($D = R$) w miejscu przejścia w rdzeń.

We wszystkich przypadkach wymiary średnic rdzennika wykonuje się o wymiarze nominalnym rdzenia, natomiast znaki rdzeniowe na modelu powiększa się o wielkość luzu.

Powinny być one sprawdzane w warunkach produkcyjnych pod kątem dotrzymania, ustalonych dla danego odlewu tolerancji wymiarowych lub też innych wymagań.

Podstawowych danych do projektowania zespołu modelowego (model, rdzennica, rdzeń), tj.: powierzchni podziału formy i modelu (lub matrycy do wykonania modelu odlewanego), klasy odlewu, naddatków technologicznych, naddatków na obróbkę dostarcza rysunek surowego odlewu. Na tej podstawie wykonuje się normalne rysunki modeli i rdzennic oraz płyt podmodelowych w przypadku formowania maszynowego. Na powyższych rysunkach bezwzględnie należy podać w tabliczce znamionowej wielość liniowego skurczu odlewniczego tworzywa odlewniczego.

Dla odlewów prostych, nie skomplikowanych, nie posiadających do odwzorowania otworów oraz wnęk można nie wykonywać rysunku modelu, a wykonanie modelu (budowę) dokonać na podstawie rysunku surowego odlewu. W tym przypadku wielkość skurczu liniowego należy zapisać na rysunku surowego odlewu.

Tablica 1.6. Dobór wysokości górnych znaków rdzeniowych

$h^{1)}$	$hl^{1)}$
20	15
25	
30	20
35	
40	25
50	30
60	35
70	40
80	50
90	55
100	60
110	65
120	70
130	80
140	85
150	90
160	95
170	100
180	110
190	115
200	120
¹⁾ Dopuszcza się wykonanie dolnego „ h ” i górnego hl znaku rdzeniowego o tych samych wysokościach	

Tablica 1.7. Zalecane długości poziomych znaków rdzeniowych dla form wilgotnych

Wymiar nominalny D lub $\frac{a+b}{2}$		L, mm							
		do 50	powyżej 50 do 150	powyżej 150 do 300	powyżej 300 do 500	powyżej 500 do 750	powyżej 750 do 1000	powyżej 1000 do 1500	powyżej 1500 do 2000
>	do	$l^{1); 2)}, mm$							
-	25	15	25	40					
25	50	20	30	45	60				
50	100	25	35	50	70	90	110		
100	200	30	40	55	80	100	120	140	160
200	300		50	60	90	110	130	150	180
300	400			80	100	120	140	160	200
400	500			100	120	130	150	180	230
500	750				140	150	170	200	250
750	1000					180	200	230	280
1000	1250					200	230	250	300
1250	1500						250	280	330
1) Długość l rdzeni mocowanych tylko w jednym gnieździe dopuszcza się powiększyć do wielkości długości L .									
2) Długość l rdzeni mocowanych w więcej niż dwóch gniazdach, można zmniejszyć o 30 ÷ 50%.									

Zmniejszenie się wymiarów odlewu wskutek skurczu należy uwzględnić przy wytwarzaniu modelu lub wnęki kokili, poprzez powiększenie jego wymiarów o wielkość skurczu. Stąd też wymiary modeli i wnęk kokili są większe od wymiarów odlewu.

Równocześnie z modelami wykonuje się przyrządy zwane rdzennicami, które służą do wytwarzania rdzeni stanowiących część składową formy odlewniczej. Wewnętrzne kształty rdzennic odpowiadają kształtom i wymiarom tych części odlewu, które będą odtwarzały rdzenie i kształty rdzenników.

Rdzennice mogą być wykonywane z drewna, metali i tworzyw sztucznych wykorzystując różne techniki wytwarzania (obróbką wiórową, odlewanie, formowanie tworzyw sztucznych lub ceramiki).

1.6. Część praktyczna ćwiczenia

1.6.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z ogólnymi zasadami wykonania rysunku surowego odlewu, będącego częścią dokumentacji technologicznej odlewu.

W zakres ćwiczenia wchodzi opracowanie na podstawie rysunku konstrukcyjnego gotowego elementu rysunku surowego odlewu (pełny lub uproszczony).

1.6.2. Przebieg ćwiczenia

Na podstawie rysunku konstrukcyjnego oraz danych określonych przez prowadzącego, studenci opracowują rysunek surowego odlewu, stosując następujący tok postępowania:

a) przeprowadzenie analizy wyboru optymalnego wariantu technologicznego w aspekcie:

- łatwości wykonania omodelowania odlewniczego formy, rdzeni, obróbki mechanicznej odlewu,
- rozważenie możliwości i celowości zmian konstrukcyjnych,
- ustalenie powierzchni podziału, bazy do pierwszej operacji obróbkowej i ustalenie położenia odlewu w formie piaskowej,
- ustalenie miejsca i sposób doprowadzenia ciekłego tworzywa odlewniczego do wnętrza formy (miejsca i typ układu wlewowego),
- kierunkowość krzepnięcia odlewu w formie,
- rozważenie skutków skurczu odlewniczego,

b) wykonanie rysunku surowego odlewu uwzględniając:

- najwłaściwszą płaszczyznę podziału,
- ustalenie i naniesienie na rysunku surowego odlewu naddatków na obróbkę skrawaniem, naddatków technologicznych oraz wrysowanie odcinka wlewu (wlewów) doprowadzającego.

1.6.3. Opracowanie sprawozdania

Wszystkie rysunki powinny być wykonane, co najmniej w dwóch rzutach i w razie potrzeby uzupełnione lokalnymi przekrojami lub innymi szczegółami umożliwiającymi pokazanie wszystkich oznaczeń odlewniczych (naddatki na obróbkę, pochylenia, promienie odlewnicze, itp.).

1.7. Literatura

1. Perzyk M. i inni: *Odlewnictwo*. WNT. Warszawa 2000, 2004.
2. Tabor A. i inni: *Projektowanie odlewów i technologii form*. Wyd. „Fotobit”. Kraków 1998
3. Rączka J. i inni: *Technologia odlewnictwa – projektowanie nowoczesnych metod wykonywania odlewów*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1994.
4. Rączka J., Tabor A.: *Technologia odlewnictwa – projektowanie*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1988.
5. Skarbiński M., Skarabiński J.: *Technologiczność konstrukcji maszyn*. WNT. Warszawa 1982.
6. Murza – Mucha P.: *Techniki wytwarzania – odlewnictwo*. WNT. Warszawa 1978.

2. Analiza technologiczności konstrukcji odlewu

2.1. Czynniki wyboru koncepcji odlewania

Konstrukcja odlewów jest technologiczna w przypadku, jeżeli odpowiada wymaganiom technologii produkcji pod względem łatwości i ekonomii oraz otrzymania odlewów bez wad. Na przykład nieprawidłowe konstrukcje połączeń ścian, w których powstają lokalne węzły cieplne (termiczne), niepozwalające na zasilanie ścian ciekłym tworzywem odlewniczym, stwarzają niebezpieczeństwo powstania zamkniętych jam skurczowych, naprężeń wewnętrznych i pęknięcia odlewów. Ponadto konstrukcja odlewów ma wpływ na zawartość pozostających w nich gazów i wtrąceń niemetalicznych oraz niedolewów, np.: przy płaskich poziomych ściankach.

Każda metoda odlewania ma swoje specyficzne właściwości od których uzależniona jest konstrukcja odlewu oraz jego jakość. Stąd też, aby konstrukcja była technologiczna, a odlew tani, konstruktor powinien przyjąć pewną określoną koncepcję wykonania odlewu i dostosować do niej kształty, wymiarowanie, chropowatość powierzchni i tolerancje oraz określić typ morfologii krzepnięcia (np.: krzepnięcie jednoczesne, kierunkowe).

Punktem wyjścia przy analizie technologiczności konstrukcji jest surowy odlew, w którym już uwzględniono naddatki technologiczne i obróbkowe. Uwzględnione naddatki mogą spowodować zmiany grubości poszczególnych przekrojów, co wpływa na przebieg procesu krzepnięcia i stygnięcia z dalszymi konsekwencjami.

Dobór materiału na odlewy musi być dokonywany na podstawie właściwości z punktu widzenia konstrukcji, technologii odlewania i kosztów produkcji. Stąd też przy konstruowaniu odlewów należy wziąć pod uwagę wiele czynników wytrzymałościowych, materiałowych i technologicznych, obróbki mechanicznej i obróbki cieplnej odlewów. Ponadto należy przeanalizować konstrukcję pod względem wytrzymałości i sztywności odlewu.

Koszt odlewu zależy nie tylko od tworzywa odlewniczego i technologii odlewania, ale również od liczebności serii produkcyjnej. Stąd też wynika, że technologii drogich (specjalne metody formowania i odlewania), nie opłaca się stosować w produkcji jednostkowej i małoseryjnej. Zakres zastosowania metod odlewania przedstawia tablica 2.1, 2.2, 2.3.

Tablica 2.1. Przykładowy zakres zastosowania metod odlewania

Rodzaj formy	Metody odlewania	Zakres zastosowania metod odlewania
Formy piaskowe	Formowanie w gruncie, dołach i wzornikami	(Z, S) – produkcja jednostkowa dla odlewów dużych i bardzo dużych
	Formowanie w formach wilgotnych ręczne i maszynowe	(Z, S, N) – do odlewów małych i średnich o prostych kształtach i średnio skomplikowanych, we wszystkich rodzajach produkcji (od jednostkowej do masowej)
	Formowanie w formach suszonych lub podsuszanych	(Z, S, N) – produkcja jednostkowa i seryjna odpowiedzialnych odlewów o średnich i dużych wymiarach
	Proces CMS (ciepłe masy samoutwardzalne), proces CO ₂	(Z, S) – produkcja jednostkowa i seryjna dla odlewów o średnich i dużych wymiarach, kształtach prostych i średnio skomplikowanych
	Gorąca rdzennica (CMT)	(Z, S, N) – seryjna i masowa produkcja małych rdzeni o wyższych wymaganiach wymiarowych
	Zimna rdzennica (masy furanowe)	(Z, S, N) – wytwarzanie rdzeni oraz form o małych i średnich wymiarach w produkcji od jednostkowej do masowej
Formy specjalne	Formowanie skorupowe	(Z, S, N) – formy i rdzenie. Produkcja seryjna i masowa odlewów małych i średnich o wyższych wymaganiach gładkości powierzchni
	Odlewanie kokilowe grawitacyjne	(N, S, Z) – odlewy o wymiarach małych i średnich w produkcji od seryjnej do masowej
	Odlewanie odśrodkowe	(N, Z, S) – seryjna i masowa produkcja odlewów o kształtach obrotowych
	Metoda Shawa	(Z, S) – produkcja seryjna odlewów o średniej wielkości
	Odlewanie metodą pełnej formy	(N) – produkcja seryjna odlewów o średniej wielkości
	Odlewanie pod ciśnieniem	(N) – do odlewów cienkościennych, małych i średnich
	Metoda wytapianych modeli	(S, Z, N) – produkcja seryjna i wielkoseryjna małych odlewów o dużej dokładności wymiarowej
S – staliwo, Z – żeliwo, N – metale nieżelazne.		

Tablica 2.2. Masy odlewów wytwarzanych przy zastosowaniu różnych procesów odlewniczych

Proces odlewania	Masa odlewu
W formach piaskowych z mas na bazie lepiszcz gliniastych	od kilkunastu g, praktycznie bez górnej granicy ograniczenia
W formach gipsowych	od kilkudziesięciu g do kilkudziesięciu kg
W formach skorupowych	od kilkunastu g do kilkudziesięciu kg
Kokilowe pod niskim ciśnieniem w formach metalowych	od kilkunastu g do 100 kg
Kokilowe ciśnieniowe	od 1 g do kilkudziesięciu kg
Kokilowe odśrodkowe do form metalowych	od kilkunastu g do kilku t
W formach ceramicznych	od kilkudziesięciu g do 200 kg
Metodą wytapianych modeli	od kilkunastu g do kilkudziesięciu kg
Metodą wypalanych modeli	od kilkuset g do kilkudziesięciu

Tablica 2.3. Największe wymiary odlewów przy zastosowaniu różnych procesów odlewniczych

Proces odlewania	Największy wymiar odlewu
W formach piaskowych z mas na bazie lepiszcz gliniastych	od kilkunastu mm do kilku m
W formach gipsowych	od kilkunastu mm do 100 mm
W formach skorupowych	od kilkunastu mm do kilkuset mm
Kokilowe pod niskim ciśnieniem w formach metalowych.	od kilku mm do 1000 mm
Kokilowe ciśnieniowe	od 1 mm do kilkuset mm
Kokilowe odśrodkowe do form metalowych	od kilkunastu mm do kilku m
W formach ceramicznych	od kilkunastu mm do (najczęściej) 100 mm
Metodą wytapianych modeli	od kilku mm do (najczęściej) 100 mm
Metodą wypalanych modeli	od kilkunastu mm do kilku m

Przy wyborze koncepcji odlewania oraz opracowaniu dokumentacji technologicznej odlewu powinny być uwzględnione następujące czynniki:

I. Analiza technologiczności konstrukcji odlewu:

1. Złożoność konstrukcji, kształt odlewu:

- wymiary gabarytowe,
- wyznaczenie powierzchni podziału modelu, formy – płaska (jeżeli profilowa, to powinna stanowić zespół prawidłowych figur geometrycznych, np. płaszczyzna,
- wysokość modelu i całkowita wysokość formy jak najmniejsza,
- rodzaj pochyłeń odlewniczych,
- możliwość odwzorowania otworów i wnęk,
- odpowiedzialne powierzchnie odwrócone ku dołowi,
- wszystkie rdzenie mocowane w dolne połowce formy.

2. Masa odlewu:

- wymiary gabarytowe formy,
- grubość ścianek formy,
- wytrzymałość formy,
- możliwość odpowietrzania wnęki formy.

3. Dominująca grubość ścianek i przekrojów odlewu (minimalne):

- rodzaj tworzywa odlewniczego,
- metoda odlewania, np.: temperatura zalewania, temperatura podgrzania kokili.

4. Żądana dokładność wymiarowa, chropowatość powierzchni, klasa odlewu:

- rodzaj tworzywa odlewniczego (żeliwo, staliwo, stopy metali nieżelaznych),
- metoda odlewania (np.: forma piaskowa, forma skorupowa, kokila itp.),
- wielkość i ustalenie naddatków technologicznych oraz naddatków na obróbkę,
- możliwość i zakres obróbki ubytkowej (wiórowej) odlewu.

5. Stabilizacja procesu krzepnięcia odlewu w formie:

- żądana struktura metalograficzna odlewu,
- morfologia krzepnięcia ciekłego tworzywa odlewniczego w formie,
- rodzaje i wielkość skurczów odlewniczych,
- powstawanie wad (np.: jamy skurczowe, rzadzizny, nakłucia, ospowatość, strupy, zażużenia, zapiaszczenia i inne),
- powstawanie naprężeń i pęknięć w odlewie (wypaczenia, pęknięcia na gorąco i na zimno),
- bezbłędne wypełnienie wnęki formy – typ układu wlewowego.

6. Rodzaj obróbki cieplnej odlewów, np.: wyżarzanie, ulepszanie cieplne, umacnianie wydzielinowe.

7. Poprawność i łatwość wykonania oprzyrządowania modelowego: model, rdzennice, rdzenie.
8. Możliwość mechanizacji i automatyzacji.

II. Czynniki techniczno – ekonomiczne:

1. Wielkość produkcji (jednostkowa, seryjna, wielkoseryjna, masowa).
2. Koszt wytwarzania i wydajność.
3. Możliwość pozyskania tworzywa odlewniczego (możliwość wytopu i sterowania tym procesem) oraz obróbki poza piecowej.
4. Możliwość pozyskania wsadu do pieca oraz materiałów dodatkowych.
5. Ekonomiczność i łatwość obróbki mechanicznej (oczyszczanie odlewu) oraz obróbki cieplnej odlewu.
6. Koszty i możliwość pozyskania surowców do wykonania mas formierskich i rdzeniowych.
7. Możliwość ponownego wykorzystania zużytych surowców na masy formierskie i rdzeniowe (np.: masa obiegowa, regenerat).

W konstrukcji odlewu należy uwzględnić z jednej strony jego funkcję jako część maszyny czy urządzenia, a z drugiej – dobrać materiał na odlew pod względem właściwości użytkowych oraz wybrać odpowiednią metodę odlewania.

O wyborze konstrukcji odlewu decydują nie tylko względy technologiczne. Równie ważnym czynnikiem wpływającym na wybór rozwiązania konstrukcyjnego są koszty wytwarzania. Podczas wykonywania prac konstrukcyjnych należy brać pod uwagę zużycie materiału, wysokość kosztów wykonania odlewu oraz koszty obróbki mechanicznej gotowego odlewu.

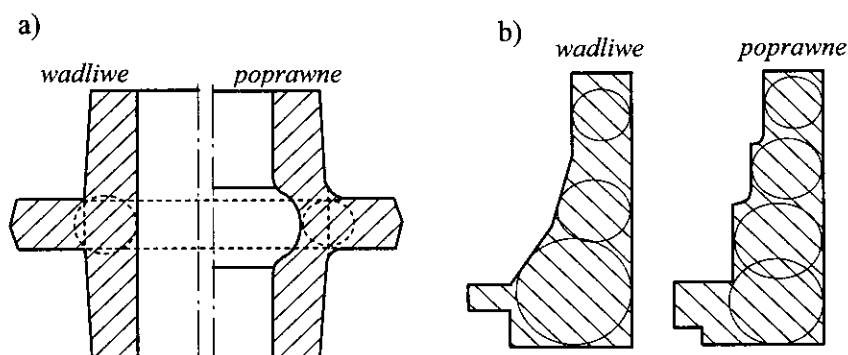
Każda metoda odlewania ma swoje specyficzne właściwości, od której uzależnia się konstrukcję odlewu. Stąd też, żeby konstrukcja była technologiczna, a odlew tani, konstruktor powinien przyjąć pewną określoną koncepcję wykonania odlewu i dostosować do niej kształt, wymiarowanie, chropowatość powierzchni odlewu oraz jego klasę itp.

Aby były spełnione wszystkie kryteria niezbędne do wykonania odlewu, który spełniałby najlepsze właściwości funkcjonalne i użytkowe, konstruktor powinien znać bardzo dobrze zasady projektowania odlewów oraz metody ich wytwarzania.

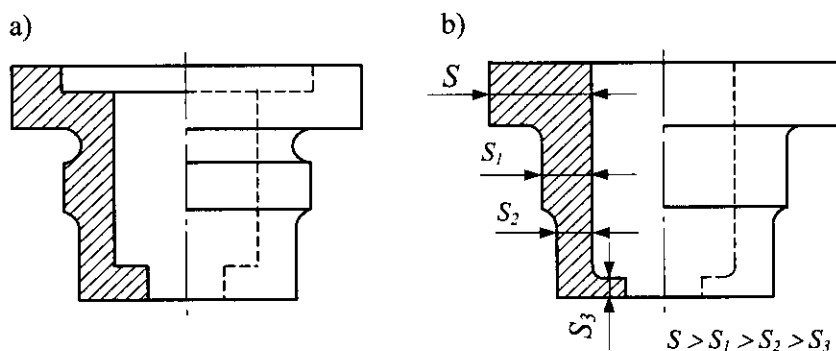
2.2. Wpływ konstrukcji odlewu i formy na jakość odlewu

Przyczyną wielu wad powstających w odlewach jest nieodpowiednia konstrukcja odlewu lub formy. Do najczęstszych wad odlewów należą: *jamy skurczowe, rzadzizny, pęcherze gazowe, wtrącenia niemetaliczne (np. żużlowe, zapiaszczenia), niedolewy oraz pęknięcia* powstające w odlewach wskutek naprężeń odlewniczych. Powstawaniu tych wad można zapobiec przez odpowiednie opracowanie konstrukcji odlewu.

Jamy skurczowe i rzadzizny powstają w miejscach skupienia metalu w tzw. węzłach ciepłych (rys. 2.1), w wyniku różnicy objętości metalu w stanie ciekłym i stałym. Wpływ ma tu również typ morfologii i kierunkowość krzepnięcia tworzywa odlewniczego (rys. 2.2).



Rys. 2.1. Przykłady zasad unikania i zmniejszania węzłów ciepłych w konstrukcjach odlewów: a) zasada unikania węzła ciepłego, b) zasada zmniejszania węzła ciepłego

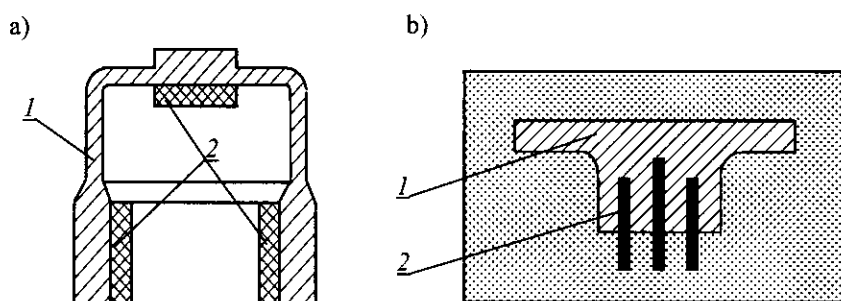


Rys. 2.2. Przykład konstrukcji z zastosowaniem kierunkowego typu krzepnięcia poprzez zastosowanie stopniowego wzrostu grubości ścianek odlewu: a) konstrukcja błędna, b) konstrukcja poprawna

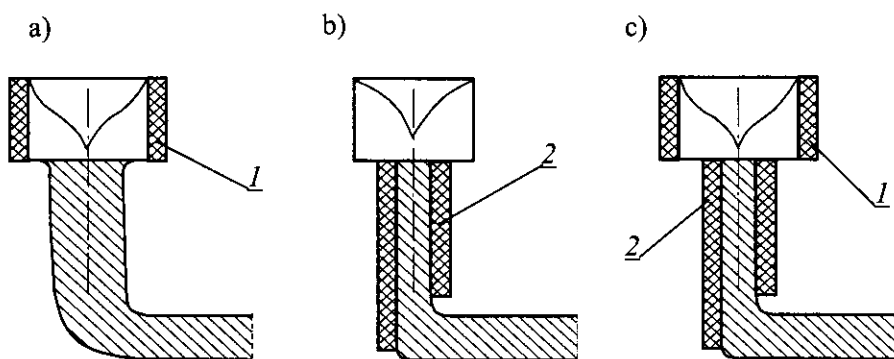
Jeżeli nie można uniknąć węzłów cieplnych, należy przewidzieć nadlewy, które po wyjęciu z formy będą odcięte. Podczas krzepnięcia odlewu nadlewy spełniają zadanie zbiornika zasilającego miejsce węzłów cieplnych. Działanie nadlewu jest prawidłowe, gdy jego zakrzepnięcie następuje po zakrzepnięciu odlewu lub zasilanej części odlewu.

W innych konstrukcyjnych przypadkach zapobiega się tworzeniu jam skurczowych i rzadzisz w węzłach cieplnych przez stosowanie tzw. ochładzalników (zewnętrznych, wewnętrznych), wykładzin i otulin izolacyjnych o małym współczynniku przewodności cieplnej oraz materiałów egzotermicznych (rys. 2.3 i 2.4).

Rola ochładzalników polega na szybkim odprowadzaniu ciepła, wskutek czego grube ścianki odlewu krzepną równie szybko jak ścianki cienkie.



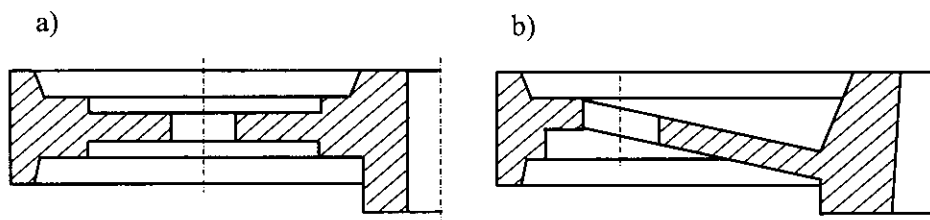
Rys. 2.3. Przykłady zastosowania ochładzalników: a) zewnętrzne w postaci płyt, b) wewnętrzne, np. w postaci prętów; 1 – odlew, 2 - ochładzalnik



Rys. 2.4. Przykłady zastosowań materiałów izolacyjnych i egzotermicznych: a) zastosowanie otuliny do nadlewu b) zastosowanie okładzin (wkładek), co umożliwiło nie pogrubianie ścianek odlewu, c) zastosowanie otuliny i wkładek; 1 – otulina nadlewu, 2 – wkładka (wykładzina)

Wykładziny i otuliny izolacyjne służą do wydłużania czasu krzepnięcia ścian odlewu, zastępując ich pogrubianie, np. w przypadku wydłużenia zasięgu działania nadlewu. Natomiast otuliny egzotermiczne służą do wydłużenia czasu krzepnięcia nadlewów.

Pęcherze gazowe powstają w odlewie w przypadku utrudnionego odprowadzania gazów z rdzeni. W tym przypadku należy unikać również dużych powierzchni poziomych (rys. 2.5a). Odlów należy zaprojektować tak, aby wypełnianie wnęki formy ciekłym tworzywem odlewniczym umożliwiało spokojne wytłaczanie gazów z formy (rys. 2.5b).



Rys. 2.5. Przykład konstruowania dużych kół zębatach: a) konstrukcja wadliwa, b) konstrukcja poprawna (brak dużej powierzchni poziomej)

Niedolewy powstają wskutek zbyt cienkich ścian odlewu lub złego odpowietrzania wnęki formy (tworzenie się poduszki gazowej).

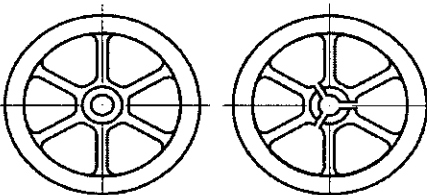
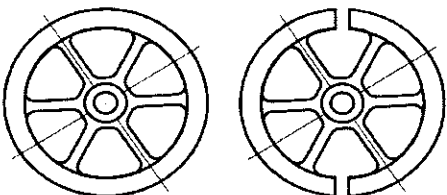
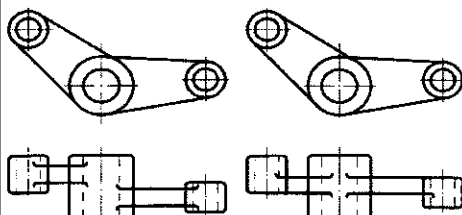
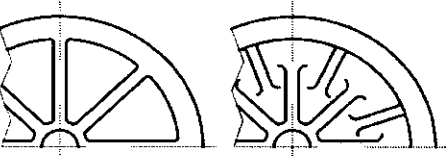
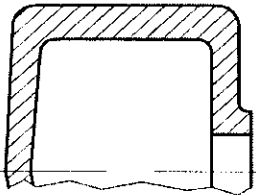
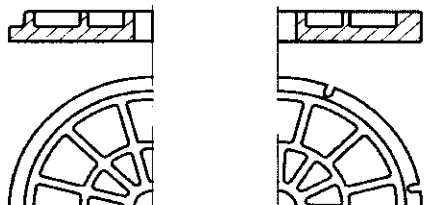
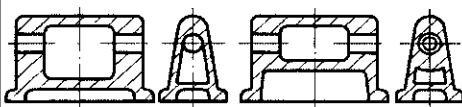
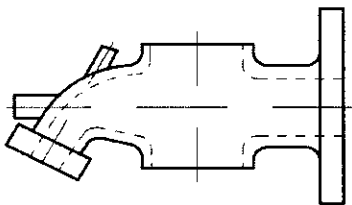
Wtrącenia niemetaliczne powstają, gdy układ wlewowy jest niewłaściwie zaprojektowany.

Odkształcenia i pęknięcia są wynikiem naprężeń skurczowych, spowodowanych nierównomiernym stygnięciem odlewów, a przyczyną jest nierównomierne rozłożenie przekrojów w formie.

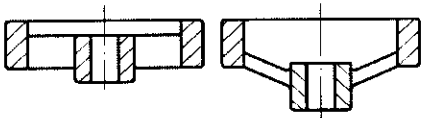
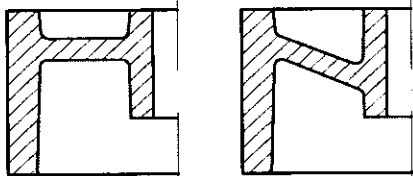
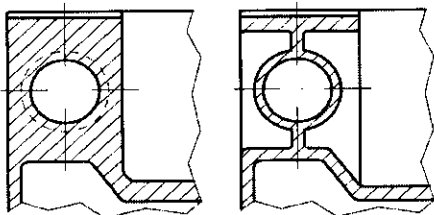
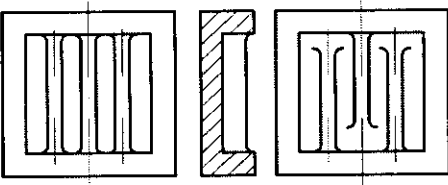
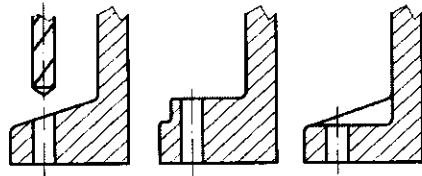
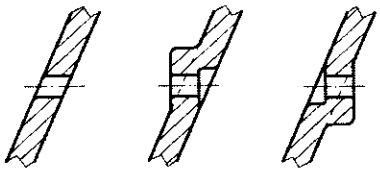
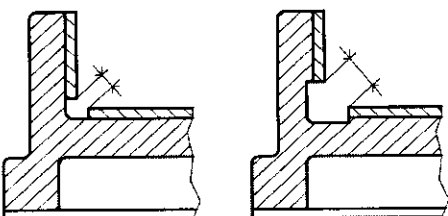
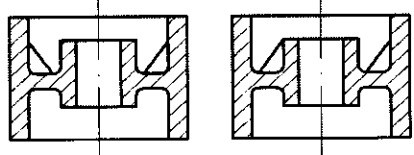
Zapobieganie odkształceniom i pęknięciom realizuje się poprzez stosowanie łączników lub żeber skurczowych zapobiegających pękaniu odlewów podczas stygnięcia.

Wybrane przykłady technologiczności konstrukcji dla odlewów żeliwnych przedstawia tablica 2.2.

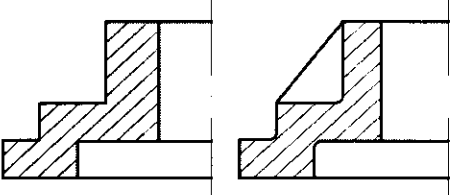
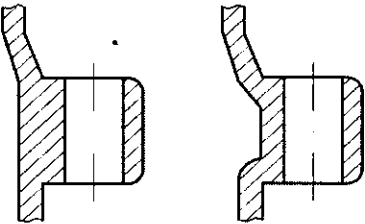
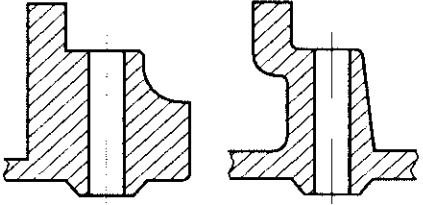
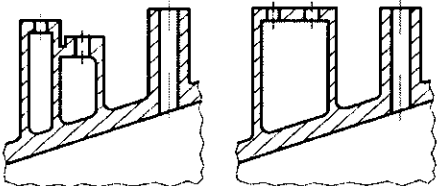
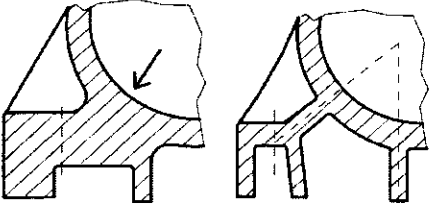
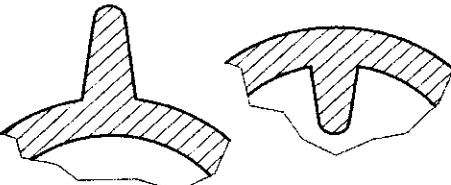
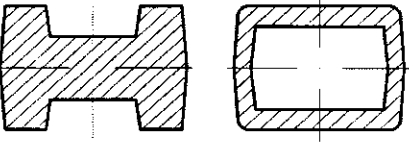
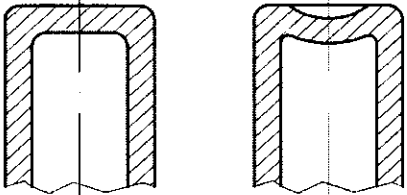
Tablica 2.2. Wybrane przykłady technologiczności konstrukcji odlewów żeliwnych

nie wskazane / wskazane	nie wskazane / wskazane
1. Stosować szczelinowe konstrukcje piast - obniżenie naprężeń własnych 	2. Stosować szczelinowe konstrukcje obrotów - obniżenie naprężeń własnych 
3. Unikać w odlewie kształtów niewspółosiowych - utrudnienie formowania 	4. Przy dużych elementach stosować podatne uźebrowanie 
5. Stosować duże promienie naroży - poprawa wytrzymałości i szczelności 	6. Stosować wzmocnienia naroży i szczeliny odprężające w elementach płytowych 
7. Stosować rdzenie walcowe - niższe koszty 	8. Stosować nadlewy technologiczne dla mocowania przy obróbce mechanicznej 

cd. Tablica 2.2.

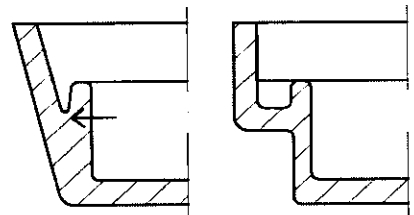
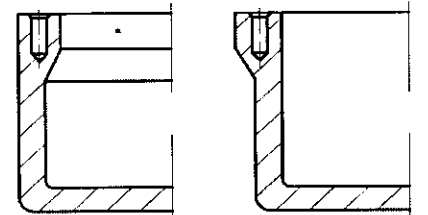
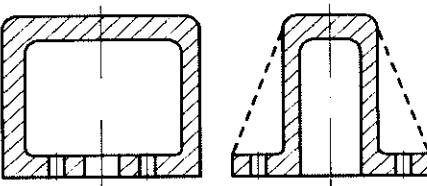
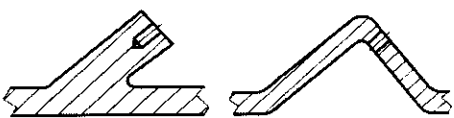
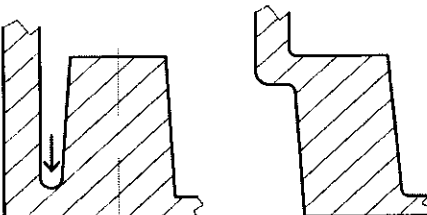
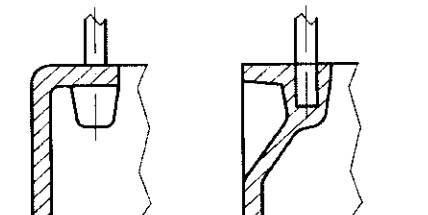
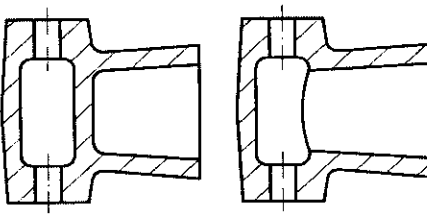
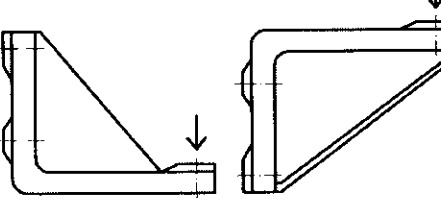
nie wskazane / wskazane	nie wskazane / wskazane
9. Stosować pochYLENIA łącZEŃ pŁasty z wieŃcem – unikniECiE pEKniEC i oDKszTatCEn 	10. Stosować ukOśnE konstrukcje pŁatczEn pŁasty z wieŃcem – obniZEŃiE naprEZEŃ wŁasnyCh 
11. Unikać zgrubień powodujących nieciągłość materiału i zwiększenie masy odlewu 	12. Stosować "elastyczne" uZEBrowanie – obniZEŃiE naprEZEŃ wŁasnyCh 
13. Pod wiercenia stosować powierzchnie pŁaskie i odpowiednie odsadzenia 	14. Odpowiednio kształtować miejsca pod wiercenia na ściankach pochYLENYCh 
15. W narożach zapewnić odpowiednie miejsca dla wybiegu narzędzia skrawającego 	16. Stosować przemienne uZEBrowanie – obniZEŃiE naprEZEŃ wŁasnyCh 

cd. Tablica 2.2.

nie wskazane / wskazane	nie wskazane / wskazane
17. Zachowywać równomierną grubość ścianek i stosować wzmocnienia zębami 	18. Unikać zgrubień 
19. Unikać zbędnego nagromadzenia materiału 	20. Obrabiane powierzchnie umieszczać możliwie na jednym poziomie - obniżka kosztów 
21. Dążyć do zachowania równomiernej grubości ścianek 	22. Uzębrowanie umieszczać w strefie małych naprężeń 
23. Stosować profile puste - wyższe wskaźniki wytrzymałościowe 	24. Wykorzystywać w projektowaniu zależności $R_c > R_m$ 

cd. Tablica 2.2.

U. Tablica 4.2.

nie wskazane	wskazane	nie wskazane	wskazane
25. Unikać ostrych kształtów sprzyjających uszkodzeniom form 	26. Stosować zewnętrzne nadlewy dla poprawy techniki formowania 		
27. Stosować konstrukcje otwarte dla ułatwienia techniki odlewania 	28. Zastępować odlewy montażowe odpowiednim ukształtowaniem ścianki 		
29. Unikać ostrych kształtów powodujących przegrzanie masy formierskiej 	30. Dostosować kształty odlewu do układu sił obciążających śruby i sworznie 		
31. Dążyć do zmniejszenia liczby rdzeni i lepszego ich mocowania, zamiast dwóch rdzeni jeden 	32. Wykorzystywać kształty pracujące na ściskanie $R_C > R_m$ 		

2.3. Część praktyczna ćwiczenia

2.3.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z metodyką oceny konstrukcji odlewanych części maszyn z punktu widzenia wymagań technologii wykonania odlewów.

2.3.2. Wykonanie analizy technologiczności konstrukcji

Dla zadanego, rysunki konstrukcyjnego odlewu wykonać analizę technologiczności konstrukcji, uwzględniając następujący tok postępowania dla określonych przez prowadzącego zajęcia stopów odlewniczych:

Stopy odlewnicze, np.: EN-GJL-250; 250-400W, EN AC-ALSi11

Metody odlewania: forma piaskowa, forma skorupowa, kokila (odlewanie grawitacyjne).

Produkcja jednostkowa.

1. Określić klasę wykonania odlewu i wybrać metodę odlewania.
2. Sprawdzić minimalną grubość ścianek odlewu i odnieść do wybranej metody odlewania.
3. Zweryfikować konstrukcję odlewu ze względu na poprawność konstrukcji oraz wykonania modelu i formy.
4. Określić nadatki na obróbkę skrawaniem.
5. Ustalić powierzchnię podziału formy i bazę do pierwszej operacji obróbki.
6. Dobrać pochylenia odlewnicze (typy pochyłeń).
7. Określić, które otwory będą odwzorowywane rdzeniem, a które jako wypełnienia (średnica otworów, grubość ścianki odlewu).
8. Określić wielkość skurczu: liniowego, objętościowego, hamowanego.
9. Zweryfikować konstrukcję odlewu pod względem węzłów cieplnych (występowanie skurczy hamowanych) i naprężeń własnych (występowanie jam skurczowych, naprężeń i pęknięć).
10. Dobrać promienie wyokrągłeń i zaokrągłeń.
11. Przewidzieć łatwość i ograniczenie kosztów obróbki mechanicznej.
12. Określić rodzaj obróbki cieplnej odlewu.
13. Sprawdzić czy konstrukcja odlewu spełnia wymagania wybranej technologii odlewania i rodzaju tworzywa odlewniczego.
14. Wybrać metodę odlewania.

2.3.3. Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Rysunek konstrukcyjny części.
2. Szkic części z uzasadnieniem wprowadzonych zmian.
3. Rysunek koncepcji technologicznej odlęwu

2.4. Literatura

1. Perzyk M. i inni: *Odlewnictwo*. WNT. Warszawa 2000, 2004.
2. Rączka J. i inni: *Technologia odlewnictwa – projektowanie nowoczesnych metod wykonywania odlewów*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1994.
3. Rączka J., Tabor A.: *Technologia odlewnictwa – projektowanie*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1988.
4. Skarbiński M., Skarabiński J.: *Technologiczność konstrukcji maszyn*. WNT. Warszawa 1982.

3. Sporządzanie i badanie wilgotności mas formierskich z gliną bentonitową

3.1. Materiały formierskie (surowce)

Materiałami formierskimi nazywamy takie surowce, które bezpośrednio lub pośrednio można użyć do sporządzenia mas formierskich, służących do wykonania form i rdzeni odlewniczych. Natomiast pod pojęciem masy formierskiej rozumie się mieszaninę podstawowych i pomocniczych materiałów formierskich, przygotowaną według odpowiednich proporcji i przerobioną według określonego sposobu dla uzyskania żądanych właściwości technicznych.

Zależnie od przeznaczenia materiały (surowce) formierskie ogólnie można podzielić na następujące grupy:

- a) materiały stosowane na ośnoję ziarnową (ziarno $0,02 \div 3,3$ mm),
- b) materiały wiążące: lepiszcza,
- c) pomocnicze materiały formierskie:
 - materiały stosowane na powłoki do form i rdzeni,
 - materiały zapobiegające przypalaniu i przywieraniu odlewu do ścianek wnęki formy,
 - materiały zapobiegające przywieraniu mas do modeli i rdzennic,
 - materiały specjalne.

Materiały na ośnoję ziarnową (piaskową) mas formierskich charakteryzują się następującymi wskaźnikami, które pozwalają z góry przewidzieć wykonanie mas o żądanych właściwościach technicznych:

- a) temperatura spiekania lub ogniotrwałość zwykła,
- b) rozszerzalność cieplna lub kurczliwość,
- c) kształt ziaren (okrągły, zaokrąglony, kanciasty itp.),
- d) rodzaj powierzchni ziarna (gładka, chropowata, spękana),
- e) masa objętościowa (nasypowa) na wilgotno i na sucho,
- f) przewodność cieplna i ciepło właściwe,
- g) aktywność chemiczna ośnoję ziarnowej do ciekłego metalu.

Znajomość powyżej wymienionych, podstawowych wskaźników całkowicie wystarcza do wykonania dobrej masy formierskiej.

Ośnoję ziarnowa składa się z ziaren o różnej wielkości. Do określenia wielkości tych ziaren (składu ziarnowego) i jego jednorodności stosuje się tzw. analizę sitową. Próba ta polega na tym, że na znormalizowanym zestawie sit przesiewa się próbki piasku, w którym uprzednio oddzielono lepiszcze, czyli drobne frakcje ziaren o wymiarach poniżej 0,02 mm.

W wyniku przesiewania określa się frakcję główną. Frakcja główna jest to suma odsiewów przeliczonych (w % masowych) z trzech sąsiednich sit, na których zebrała się największa ilość piasku. Wartość masowa frakcji głównej w stosunku do całości piasku jest podstawą do klasyfikacji pod względem jednorodności.

Ze względu na wielkość frakcji głównej, piaski dzielą się:

- piasek jednorodny (**J**) – frakcja główna wynosi $60 \div 80\%$,
- piasek mało jednorodny (**M**) – frakcja główna wynosi $60 \div 80\%$,
- piasek niejednorodny (**N**) – frakcja główna wynosi poniżej 60% .

Jednorodność osnowy ziarnowej jest ważnym parametrem, ponieważ ma ona istotny wpływ np. na przepuszczalność i właściwości wytrzymałościowe mas formierskich.

3.1.1. Materiały stosowane na osnowę ziarnową (piaski formierskie)

1. Piasek kwarcowy ($1K \div 4K$) – jest sypką skałą osadową, zawierającą min. $96\%SiO_2$. Temperatura topienia $1713^{\circ}C$, spiekania $1350 \div 1450^{\circ}C$ (najniższa temperatura, w której następuje nadtopienie zewnętrznej warstewki ziarna).
2. Piasek cyrkonowy ($ZrSiO_4$). Temperatura topienia $2200 \div 2400^{\circ}C$. Piasek cyrkonowy jest niezwilżalny przez ciekły metal, kształt ziaren jest zaokrąglony o gładkiej powierzchni. Jest to piasek deficytowy (drogi), dlatego też używany jest tylko do wytwarzania form i rdzeni dla skomplikowanych odlewów staliwnych oraz w metodzie Shawa i wytapianych modeli.
3. Piasek oliwny $(MgFe)_2SiO_4$ – jest otrzymywany poprzez rozdrobnienie skal o nazwie oliwin. Piasek ten jest silnie zasadowy i reaguje z kwaśnymi utwardzaczami żywic furanowych (furfurylowych). Natomiast nie reaguje z tlenkami manganu, przez co ma zastosowanie przy wytwarzaniu odlewów z austenicznego staliwa manganowego Hedfielda.
4. Piasek magnezytowy – otrzymywany przez spiekanie w temperaturze powyżej $1450^{\circ}C$ węglanu magnezu $MgCO_3$, a następnie jego zmieleniu. Piasek magnezytowy posiada dużą odporność na działanie tlenków manganu i żużli zasadowych.
5. Piaski glinokrzemianowe: sylimanit i mulit:
 - sylimanit – jest otrzymywany ze skał glinokrzemianowych. Jest materiałem ogniotrwałym, chemicznie obojętnym, o temperaturze topnienia ok. $1800^{\circ}C$,
 - mulit – otrzymywany z glin ogniotrwałych metodą prażenia. Charakteryzuje się bardzo małą rozszerzalnością cieplną i odpornością na oddziaływanie ciekłych metali i żużli.

Poza wymienionymi piaskami formierskimi mogą być stosowane również inne surowce na osnovę ziarnową, np.: korund sztuczny, szamot, chromit itp.

W większości piasków stosowanych w odlewnictwie na osnovę ziarnową mas formierskich lub rdzeniowych stanowią przede wszystkim piaski kwarcowe (niska cena). Ze względu na zawartość w nich lepiszcza (w praktyce - zanieczyszczenie glinami) wyodrębnia się następujące klasy piasków kwarcowych:

- piasek **1K** o maks. zawartości lepiszcza 0,2%,
 - piasek **2K** o maks. zawartości lepiszcza 0,5%,
 - piasek **3K** o maks. zawartości lepiszcza 1,0%,
 - piasek **4K** o maks. zawartości lepiszcza 2 %,
 - piasek chudy **C** o zawartości lepiszcza $2 \div 8\%$,
 - piasek półtłusty **P** o zawartości lepiszcza $8 \div 15\%$,
 - piasek tłusty **T** o zawartości lepiszcza $15 \div 20\%$,
 - piasek bardzo tłusty **BT** o zawartości lepiszcza $25 \div 35\%$.
- } (5K)
- } (6K)

W praktyce stosuje się piaski kwarcowe o małej zawartości lepiszcza, bowiem wówczas istnieje możliwość sterowania składem, a tym samym i właściwościami wytrzymałościowymi i technologicznymi wykonywanych mas formierskich i rdzeniowych.

3.1.2. Materiały wiążące (lepiszcza)

Materiały wiążące są to składniki mas formierskich wprowadzone w celu związania ziaren osnovy i nadania im odpowiednich właściwości wytrzymałościowych i technologicznych nazywamy materiałami wiążącymi.

Do najważniejszych materiałów wiążących zalicza się substancje typu lepiszcza, jak np.: glina bentonitowa, glina kaolinitowa oraz spoiwa nieorganiczne: szkło wodne sodowe, krzemian etylu, cement, gips. Natomiast do organicznych materiałów wiążących (spoiw) zalicza się pewne grupy żywic syntetycznych.

W odlewnictwie znaczenie praktyczne mają następujące rodzaje glin formierskich:

- glina bentonitowa (bentonit) o zawartości montmorylonitu ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot n\text{H}_2\text{O}$) powyżej 70%, stosowana jest jako składnik mas na formy zalewane w stanie wilgotnym,
- glina kaolinitowa (kaolinit), zawierająca ok. 46% SiO_2 , 40% Al_2O_3 i ok. 14% H_2O), stosowana jest jako składnik mas na formy i rdzenie suszone.

3.1.3. Pomocnicze materiały formierskie

Do materiałów pomocniczych, stosowanych do wykonywania form i rdzeni, zalicza się zarówno dodatki wprowadzane celowo do mas formierskich lub rdzeniowych w celu poprawy ich właściwości, jak również materiały stosowane w postaci pokryw oraz specjalne elementy form.

Jako materiały formierskie chroniące powierzchnie form i rdzeni przed przypaleniem mogą być stosowane: pył węgla kamiennego, pył koksowy, pył węgla drzewnego, grafit, talk, pył kwarcowy, zmielony polistyren, smoła granulowana itp. Zadaniem tych materiałów dodatkowych jest wyeliminowanie zwilżania wnętrza formy i powierzchni rdzeni przez ciekły metal, co zapewnia uzyskanie czystej powierzchni odlewu bez przypaleń masy i wad powierzchniowych. Na przykład pył węglowy ulegając zgazowaniu pod wpływem temperatury, powoduje pokrywanie ziaren osnowy piaskowej niezwilżalną przez ciekły metal sadzą (węgiel pirolityczny). Ilość pyłu węglowego (dodatków) stosowanego do masy formierskiej dobiera się w zależności od grubości ścianek wykonywanych odlewów. Im większa grubość ścianki, tym powinna być większa ilość dodatków w masie formierskiej.

Poza wymienionymi dodatkami w celu zapobiegania przylepianiu się masy do omodelowania (modeli, rdzennic) odlewniczego, używane są tzw. pokrycia oddzielające, do których zalicza się: pudry formierskie jako gotowe preparaty oraz materiały ciekłe jak np.: nafta, oleje uniwersalne, emulsje itp.

Do materiałów pomocniczych zalicza się również tzw. galanterię odlewniczą:

- sznury odpowietrzające i uszczelniające,
- szpilki formierskie,
- ochładzalniki,
- podpórki, uźebrowania itp.,
- materiały rozluźniające,
- kity, pasty uszczelniające, kleje itp. (np.: do naprawy rdzeni i sklejanie form skorupowych).

3.2. Masa formierska z gliną bentonitową

Masą formierską nazywa się odpowiednio przerobioną mieszaninę różnych materiałów (składników) formierskich, dobranych w określonym stosunku. Skład masy powinien być dostosowany do technologii wykonania formy, procesu zalewania formy ciekłym tworzywem odlewniczym, tak aby forma miała optymalne właściwości technologiczne zapewniające uzyskanie odlewu o odpowiedniej jakości.

Klasyczna masa formierska składa się z następujących składników:

- osnowa ziarnowa (piaski formierskie),
- lepiszcze (glinka bentonitowa lub kaolinitowa),
- woda,
- dodatki (np. zmielony polistyren, pył węglowy itp.).

W masach tych wykonywane są odlewy żeliwne, staliwne oraz ze stopów metali nieżelaznych zarówno w formach wilgotnych, jak i suszonych. Ze względu na skład i bazę lepiszcza masy formierskie dzielą się na: naturalne, półsyntetyczne i syntetyczne (tablica 3.1).

Tablica 3.1. Podział mas ze względu na skład

Rodzaj masy	Skład masy	Uwagi
Masy naturalne	Piasek kwarcowy C;P (5K) lub T;BT (6K), woda, dodatki	Masa ze świeżych składników
	Piasek kwarcowy C;P (5K) lub T;BT (6K), masa używana, woda, dodatki	Masa z dodatkiem masy używanej
Masy półsyntetyczne	Piasek kwarcowy C;P (5K) lub T;BT (6K), piasek kwarcowy 1K÷4K, woda, dodatki	Masa ze świeżych składników
	Piasek kwarcowy C;P (5K) lub T;BT (6K), glina, woda, dodatki	
	Piasek kwarcowy C;P (5K) lub T;BT (6K), piasek kwarcowy 1K÷4K, masa używana, woda, dodatki	Masa z dodatkiem masy używanej
	Piasek kwarcowy C;P (5K) lub T;BT (6K), masa używana, glina, woda, dodatki	
Masy syntetyczne	Piasek kwarcowy 1K÷4K lub regenerat, glina, woda, dodatki	Masa ze świeżych składników
	Piasek kwarcowy 1K÷4K lub regenerat, masa używana, glina, woda, dodatki	Masa z dodatkiem masy używanej
<i>Regenerat</i> – odzyskana osnowa ziarnowa z mas z poprzednich procesów technologicznych poprzez usunięcie z niej części zanieczyszczeń metalowych, pyłów oraz resztek nie wypalonego lepiszcza.		

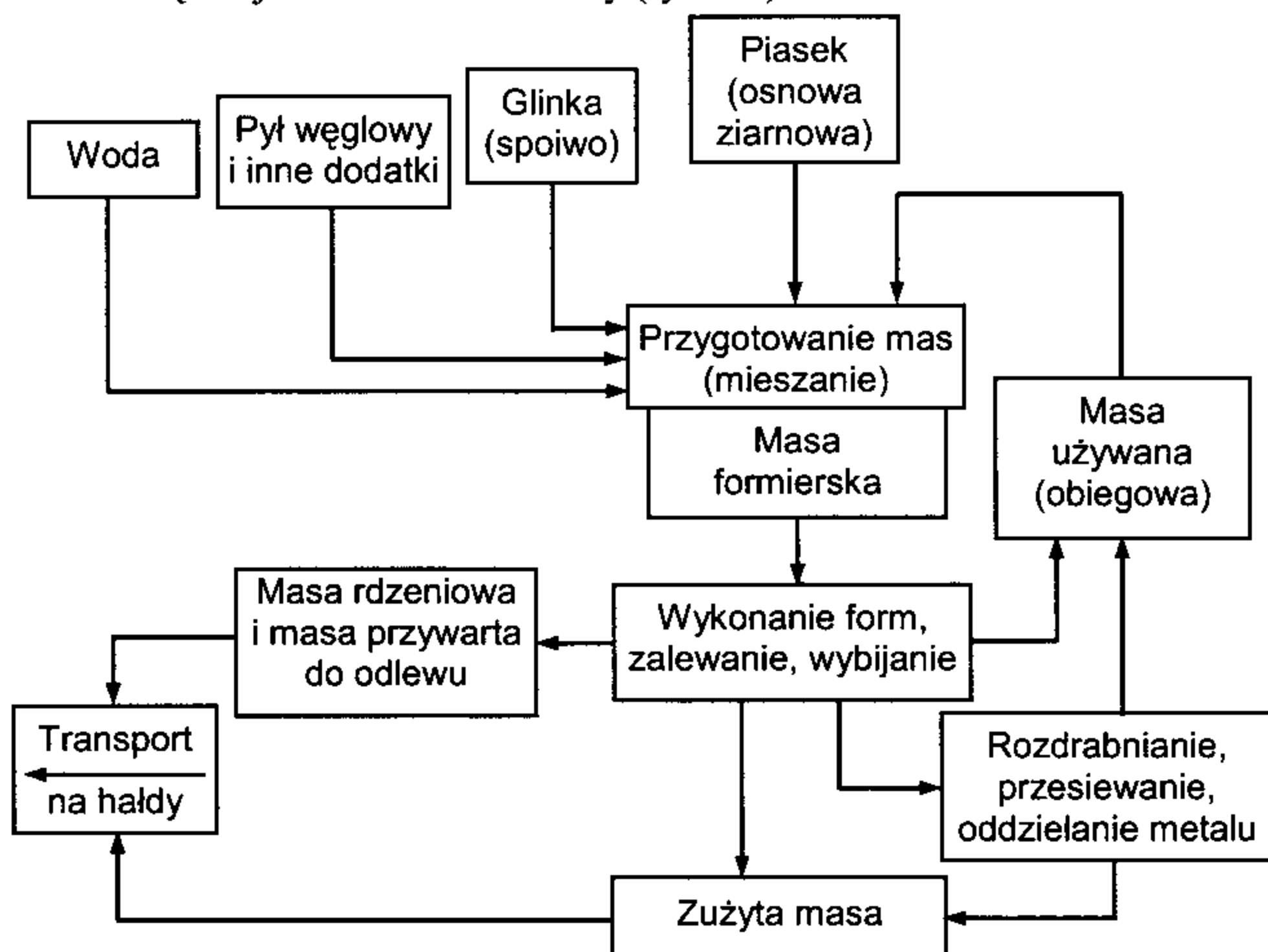
Określenie „syntetyczne” oznacza, że masę zestawiono z odpowiednio przygotowanych surowców (materiałów) o znanych i stabilnych właściwościach. Tego typu masy umożliwiają uzyskanie powtarzalnych właściwości w przypadku mas sporządzanych według określonego składu i sposobu.

Masy formierskie można podzielić również według rodzaju tworzyw odlewniczych: na masy do staliwa, żeliwa i metali nieżelaznych. Masy te różnią się przede wszystkim wymaganiami, dotyczącymi ognioodporności jak i oddziaływania chemicznego na osnowę ziarnową i odwrotnie. Piasek kwarcowy często nie spełnia tych wymagań.

Według rodzaju form, masy formierskie można także podzielić na masy do form odlewanych na „wilgotno” i do form odlewanych na „sucho”. Formy wilgotne zalewa się w stanie wilgotnym bezpośrednio po ich wykonaniu. Natomiast przy formowaniu „na sucho” formy te wykonuje się z mas wilgotnych, lecz przed zalaniem ciekłym tworzywem odlewniczym poddawane są suszeniu w suszarkach.

W odlewnictwie wyróżnia się też pojęcia masy przymodelowej, jednolitej, wypełniającej i masy obiegowej;

- masa przymodelowa – masa o lepszych właściwościach, którą nanosi się na model warstwą o grubości $10 \div 50$ mm (zależnie od wielkości odlewów), resztę objętości formy wypełnia się masą wypełniającą, tańszą o gorszych właściwościach. Tego typu masy stosuje się w produkcji jednostkowej i mało seryjnej.
- masę jednolitą stosuje się przy formowaniu maszynowym,
- masa obiegowa, jest to masa z poprzedniego cyklu technologicznego (z wybitych form), po odświeżeniu i dodaniu świeżych składników o łącznej ilości $5 \div 10\%$ i wody (rys. 3.1).



Rys. 3.1. Schemat obiegu masy formierskiej i jej składników w odlewni

Oddziaływanie temperatury ciekłego tworzywa odlewniczego (temperatura zalewania) na masę powoduje, że część lepiszcza oraz ziaren osnowy z warstwy masy stykającej się bezpośrednio z ciekłym tworzywem traci swoje pierwotne właściwości. Dlatego masę, co kilkanaście lub kilkadziesiąt cykli obiegowych należy odświeżyć, czyli uzupełnić w niej składniki zużyte oraz poddać ją powtórnemu mieszaniu w celu uzyskania wymaganych właściwości mechanicznych i technologicznych. Przygotowanie masy używanej polega na jej rozdrobnieniu, oddzieleniu z niej części metalowych i przesianiu. Przeróbka masy formierskiej sprowadza się w zasadzie do następujących operacji:

- przygotowanie świeżych materiałów (piasku, lepiszcza, i dodatków),
- przygotowanie masy używanej do powtórnego jej użycia,
- wymieszanie i spulchnienie masy.

Bardzo istotnym zagadnieniem, decydującym o jakości danej masy jest jej przygotowanie. Polega ono na równomiernym rozprowadzeniu materiałów wiążących wokół ziaren osnowy i dokładnym wymieszaniu z dodatkami. Od jakości przeprowadzonej przeróbki składników zależy jakość uzyskanych mas.

Operacje związane z przygotowaniem materiałów i mas formierskich wykonuje się przy użyciu odpowiednich maszyn i urządzeń, np.: piece do suszenia, rozdrabniacze, przesiewacze, dozowniki, mieszadła, spulchniacze i inne wyposażenie.

Zużyte masy formierskie i rdzeniowe, nie nadające się do ich ponownego zastosowania w wyniku wielokrotnego wykorzystywania, poddaje się zabiegowi regeneracji. Regeneracja ma na celu odzyskanie ze zużytej masy piasku kwarcowego o odpowiedniej ziarnistości i przywrócenia mu właściwości piasku świeżego. Odzyskany z regeneracji piasek kwarcowy może zastępować piasek nowy, co posiada duże znaczenie ekonomiczne.

W zależności od rodzaju zastosowanego materiału wiążącego (lepiszcza, spoiwa) stosowane są następujące metody regeneracji:

- regeneracja mokra – znajduje zastosowanie dla mas z lepiszczem gliniastym oraz przy wodnym oczyszczaniu odlewów,
- regeneracja sucha – polega na mechanicznym oddzielaniu przywartego do ziaren piasku lepiszcza lub spoiwa. Jest najbardziej rozpowszechnioną i uniwersalną metodą, stosowaną w większości do wszystkich mas formierskich i rdzeniowych.
- regeneracja ogniowa – stosowana do mas ze spoiwem, które pod wpływem wysokich temperatur ulegają rozkładowi i wypaleniu. Z zabiegu regeneracji można odzyskać 70 ÷ 80% piasku kwarcowego.

3.3. Część praktyczna ćwiczenia

3.3.1. Cel i zakres ćwiczenia

Ćwiczenie ma na celu zapoznanie studentów z technologią wytwarzania mas formierskich na bazie glinki bentonitowej oraz pomiar wilgotności tych mas.

3.3.2. Przykładowa instrukcja sporządzania masy formierskiej z glinką bentonitową

Składniki i sporządzenie masy:

- piasek kwarcowy suchy 4K - 30%,
- bentonit mielony – 2%,
- masa obiegowa (nie zwilżona) – 66%,
- pył węglowy – 2%,
- woda – (wagowo do sumy składników) – $(2 \div 5\%)$.

Masę sporządzić w mieszarce łopatkowej do przeróbki masy formierskiej. Do mieszarki załadować wszystkie materiały sypkie w następującej kolejności dozowania: piasek kwarcowy, masa obiegowa, bentonit specjalny, pył węglowy, woda. Czas mieszania składników suchych około 120 s. Po dodaniu wody mieszać przez 240 s.

Sporządzoną masę należy umieścić w szczelnie zamkniętym pojemniku (eksykatorze) i odstawić na 2 do 3 godzin celem wyrównania wilgotności (leżakowanie masy).

3.3.3. Oznaczenie wilgotności mas aparatem do przyspieszonego oznaczania wilgotności typu LW

Zawartość wilgoci w masie formierskiej zależy głównie od ilości zawartego w niej lepiszcza. W przybliżeniu na każdy 1% zawartości glinki bentonitowej masa powinna zawierać około 0,36% wilgoci. Zbyt mała, jak również zbyt duża zawartość wody w masie formierskiej powoduje obniżenie wskaźników wytrzymałościowych i technologicznych masy.

Dokładny pomiar zawartości wilgoci w masie formierskiej można wykonać poprzez suszenie w suszarce w temperaturze $105 \div 110^{\circ}\text{C}$, odważonej próbki w ilości 50 g. Czas suszenia 1 godz. Ubytek masy próbki do ciężaru początkowego próbki pozwala na obliczenie:

a) wilgotności względnej;

$$W_w = \frac{G_1 - G_2}{G_1} 100, [\%] \quad (3.1)$$

gdzie:

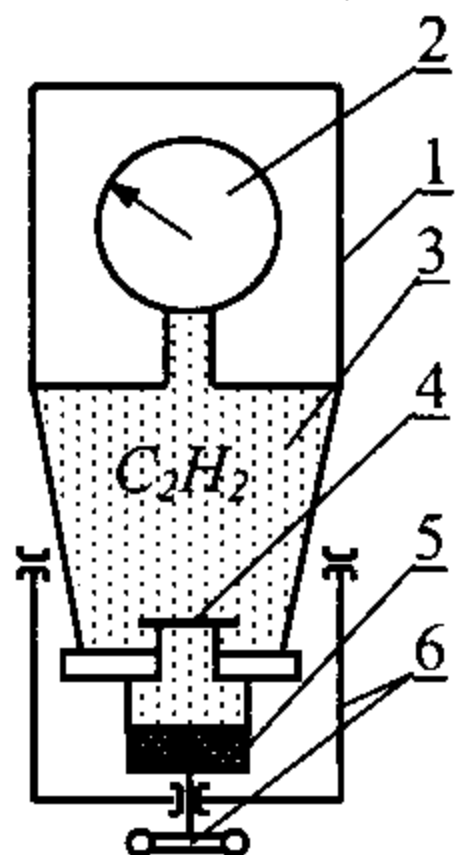
G_1 – masa próbki przed suszeniem,

G_2 – masa próbki po suszeniu.

b) wilgotności bezwzględnej;

$$W_b = \frac{G_1 - G_2}{G_2} 100, [\%] \quad (3.2)$$

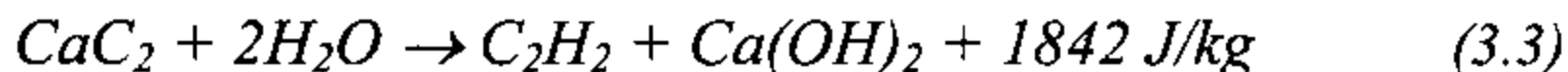
Określenie zawartości wilgoci tą metodą trwa zwykle powyżej jednej godziny. Stąd też w warunkach produkcyjnych (w odlewni) stosuje się metodę przyśpieszoną, opartą na reakcji chemicznej wody zawartej w masie z CaC_2 (karbidem) w specjalnym aparacie (typ LW), zaopatrzonym w manometr wyskalowany w % wilgotności (rys. 3.2).



Rys. 3.2. Schemat aparatu do przyspieszonego oznaczania wilgotności mas formierskich:

1 – korpus, 2 – manometr wskazujący procentową zawartość wody, 3 – komora aparatu, 4 – filtr, 5 – pojemnik (kubek), 6 – jarzmo z pokrętłem

Oznaczenie zawartości wilgoci w masie formierskiej przy użyciu aparatu polega na określeniu ciśnienia acetyleny, który wydziela się w wskutek reakcji chemicznej zmielonego karbidu z wilgocią zawartą w próbce badanej masy.



Ciśnienie powstałego acetyleny C_2H_2 , przy stałej objętości komory aparatu jest wprost proporcjonalne do ilości wilgoci zawartej w masie formierskiej badanej próbki. Pomiar wilgotności masy należy przeprowadzić według następującej procedury:

Do oczyszczonej komory aparatu należy wsypać porcję zmielonego karbidu w ilości 5 g. Następnie do oczyszczonego pojemnika (kubek) aparatu wsypać 6 g odważonej próbki masy formierskiej. Dokładność naważenia w obu przypadkach $\pm 0,05$ g. Pojemnik wraz z korpusem składać w pozycji poziomej

tak, aby nie nastąpiło zetknięcie karbidu z zawartą masą i docisnąć pojemnik za pomocą pokrętła. Zamknięty aparat ustawić w pozycji pionowej i wstrząsać, utrzymując pozycję pionową około 1 min. Następuje wówczas wymieszanie karbidu z masą, co prowadzi do powstania acetylenu, którego ciśnienie należy odczytać na manometrze w pozycji pionowej aparatu.

Dokonać pięć pomiarów i zamieścić w tablicy sprawozdania. Obliczyć średnią arytmetyczną wartość wilgotności i dokonać analizy wyników odczytów z wymaganiami technicznymi, tj. wg poniższego wzoru:

$$W_{max} - W_{min} \leq 10\% \overline{W}. \quad (3.4)$$

Za wynik badania należy uznać minimum, średnią arytmetyczną z trzech pomiarów. W przypadku rozbieżności należy ponownie przeprowadzić pomiar wilgotności, po uprzedniej analizie przyczyn rozbieżności wartości odczytów.

3.3.4. Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Opis i warunki wykonania oznaczenia wilgotności mas.
2. Wyniki pomiarów.
3. Opracowanie wyników poprzez:
 - określenie dopuszczalnej różnicy między wynikami pomiarów,
 - określenie wyniku końcowego,
 - wnioski końcowe z przeprowadzonych badań.

3.4. Literatura

1. Lewandowski L.: *Materiały formierskie i rdzeniowe*. PWN. Warszawa 1991.
2. Lewandowski L.: *Tworzywa na formy odlewnicze*. Wydawnictwo „Akapit”. Kraków 1997.
3. Sakwa W., Wachelko T.: *Materiały na formy i rdzenie odlewnicze*. Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice 1981.
4. Perzyk M. i inni: *Odlewnictwo*. WNT. Warszawa 2000, 2004
5. Rączka J.: *Technologia odlewnictwa*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1988.
6. Praca zbiorowa: *Poradnik inżyniera – odlewnictwo*. WNT. Warszawa 1986.

4. Wskaźniki technicznych właściwości mas formierskich i rdzeniowych

4.1. Wprowadzenie

Właściwości techniczne mas formierskich i rdzeniowych można podzielić na grupy właściwości charakteryzujących masę w temperaturze otoczenia (przed zalaniem formy tworzywem odlewniczym) oraz właściwości dla stanu w czasie zalewania i po zalaniu formy. W trakcie zalewania w bardzo krótkim okresie czasu następuje znaczny wzrost temperatury warstwy masy bezpośrednio stykającej się z ciekłym tworzywem, co powoduje już istotne zmiany właściwości tych mas. Z tego też względu do określenia właściwości tych mas wykonuje się odpowiednie badania laboratoryjne w wyniku, których określa się przybliżone wskaźniki właściwości tych mas.

Do właściwości technicznych mas zalicza się:

- właściwości technologiczne,
- właściwości wytrzymałościowe,
- właściwości termofizyczne.

Masę formierską można w pełni ocenić dopiero po wykonaniu dwudziestu kilku badań. Natomiast w praktyce odlewniczej konieczność takich badań zachodzi bardzo rzadko i zwykle realizuje się badania dla kilku podstawowych właściwości technicznych mas, np.: przepuszczalność, płynność, ścieralność, plastyczność, właściwości wytrzymałościowe, a w razie potrzeb także inne badania. Wpływ podstawowych czynników na przepuszczalność i wytrzymałość mas formierskich przedstawia tablica 4.1.

Tablica 4.1. Wpływ czynników na przepuszczalność i wytrzymałość mas formierskich

Czynniki wpływające na zmiany właściwości	Przepuszczalność	Wytrzymałość
Kształt ziarna - ziarna bardzo okrągłe	rośnie	maleje
Wielkość ziarna – ziarnistość rośnie (ziarna drobniejsze)	maleje	rośnie
Jednorodność ziaren – ziarna o jednakowej wielkości	rośnie	maleje
Zawartość lepiszcza - wzrasta	maleje	rośnie
Stopień zagęszczenia - wzrasta	maleje	rośnie

4.2. Właściwości technologiczne mas

4.2.1. Przepuszczalność

Przepuszczalność jest to zdolność masy formierskiej lub piasku do odprowadzania (filtrowania) gazów powstających w formie odlewniczej w czasie zalewania ciekłym tworzywem odlewniczym. Gazy te powstają wskutek parowania wilgoci zawartej w masie oraz wypalaniu, zgazowywaniu lub rozkładowi spoiw organicznych jak i materiałów dodatkowych. Wydzielenie się gazów oraz wzrost temperatury powoduje podwyższenie ciśnienia we wnętrzu formy.

Niedostateczna przepuszczalność masy utrudnia wydostanie się gazów z wnętrza formy na zewnątrz formy, co może doprowadzić do powstania porowatości gazowej (pęcherze gazowe) odlewu, a także może doprowadzić do zniszczenia formy. Stąd też struktura masy zagęszczonej musi umożliwiać przepływ gazów przez masę z odpowiednią intensywnością.

Do znaczących czynników mających wpływ na zdolność przepuszczania gazów przez masę zalicza się:

- stan jednorodności ziaren osnowy piaskowej,
- wielkość i kształt ziaren osnowy,
- ilość i jakość lepiszcza lub spoiwa,
- stopień zagęszczenia masy,
- temperaturę gazów w wnętrzu formy,
- wilgotność masy.

Miarą wskaźnika przepuszczalności P jest objętość powietrza, które przepływa przez jednostkę powierzchni znormalizowanej kształtki walcowej (próbki) o średnicy 50 mm i wysokości 50 mm w ciągu jednostki czasu i ustalonym zagęszczeniu masy formierskiej. Przepuszczalność określa się następującym wzorem:

$$P = \frac{V \cdot h}{S \cdot \tau \cdot p}, \left[\frac{m^3}{Pa \cdot s} \cdot 10^8 \right] \quad (4.1)$$

gdzie:

- V – objętość powietrza przepływającego przez kształtkę walcową, m^3 ,
- h – wysokość kształtki (próbki), m ,
- S – powierzchnia poprzecznego przekroju kształtki, m^2 ,
- τ – czas w jakim powietrze o objętości V przepłynie przez kształtkę, s ,
- p – ciśnienie powietrza pod kształtką, Pa .

Z powyższego wzoru wynika, że przy stałych wartościach h i S oraz wydatku powietrza V/τ parametrem decydującym o wartości przepuszczalności P jest ciśnienie powietrza panujące pod badaną kształtką.

4.2.2. Płynność

Płynność masy jest to zdolność równomiernego zagęszczenia masy przy zachowaniu gładkości ścianek wnętrza formy przy ustalonym użyciu ilości pracy przy jej zagęszczaniu. Oznaczenie płynności masy formierskiej polega na pomiarze stopnia odkształcenia znormalizowanej kształtki i wyraża się następującym wzorem empirycznym:

$$W = 100 - 40 \cdot x, \% \quad (4.2)$$

gdzie:

x – wartość odkształcenia znormalizowanej próbki, mm .

Ten sposób oznaczania płynności, znany jest pod nazwą metody Valtiera-Dieterta.

Czynnikami wpływającymi na płynność są:

- stan jednorodności osnowy ziarnowej,
- rodzaj powierzchni ziaren osnowy (np.: gładka, chropowata itp.),
- ilość, jakość i rodzaj materiału wiążącego,
- wilgotność masy.

4.2.3. Ścieralność (osypliwość)

Ścieralność masy formierskiej określa zdolność do wypadania (wykruszania) ziarenek piasku z powierzchni ścianki formy lub rdzenia pod wpływem tarcia strumienia ciekłego tworzywa odlewniczego.

Odporność mas na ścieranie jest ściśle związana ze zjawiskiem osypliwości, tzn. odpadaniem ziaren osnowy na wskutek powierzchniowego obsychania formy i związanej z tym straty wytrzymałości.

Decydujący wpływ na ścieralność ma wilgotność, gatunek i ilość użytego materiału wiążącego.

Badania ścieralności polegają na pomiarze ubytku masy kształtki walcowej obracanej wokół osi na dwóch metalowych rolkach w określonym czasie i temperaturze (ok. $93^{\circ}C$), co powoduje ścieranie się powierzchni walcowej badanej kształtki.

Wartość ścieralności oblicza się według wzoru:

$$S = \frac{a-b}{a} \cdot 100\%, \quad (4.3)$$

gdzie:

- a – masa kształtki przed badaniem, g,
- b – masa kształtki po badaniu, g.

Osypliwość może być przyczyną wad odlewów w postaci zapiaszczeń, zaprószeń oraz zwiększonej chropowatości powierzchni odlewów (chropowate narosty na odlewie, jako odbicie zdartych ziaren osnowy).

4.2.4. Inne właściwości technologiczne mas formierskich i rdzeniowych

Istnieje wiele innych właściwości technologicznych mas, mających wpływ na zachowanie się masy formierskiej lub rdzeniowej w procesie wykonywania formy, zalewania ciekłym tworzywem odlewniczym oraz w fazie końcowej krzepnięcia odlewu w formie, do których między innymi można zaliczyć.

Wybijalność – jest właściwością charakteryzującą stopień trudności wybijania odlewów z form i rdzeni z odlewów. Wybijalność mas formierskich, a w szczególności mas rdzeniowych, jest istotnym wskaźnikiem przydatności tych mas w produkcji. O wybijalności mas decydują takie czynniki jak:

- skład masy (ilość i rodzaj materiału wiążącego, dodatki),
- temperatura zalewania,
- ilość ciepła wprowadzonego wraz z ciekłym tworzywem do formy,
- rozkład temperatury w formie lub rdzeniu.

Masy ze spoiwami organicznymi zwykle charakteryzują się dobrą wybijalnością, pod warunkiem, że rdzenie z tych mas zostały dostatecznie przegrzane (nastąpił rozkład spoiwa). Masy ze spoiwem nieorganicznym, np. szkłem wodnym są trudno wybijalne przy zastosowaniu wybijania ręcznego, natomiast łatwo wybijalne w przypadku wybijania hydraulicznego.

Trwałość – jest to zdolność mas do wielokrotnego użycia po jej odświeżeniu. Jest to właściwość dość istotna z punktu widzenia technologii i ekonomii produkcji. Dużą trwałość posiadają masy na bazie lepiszcza, natomiast trwałość mas wykonanych na bazie spoiw jest równa zero (brak możliwości odzyskania właściwości wiążących spoiwa).

Żywotność – jest cechą charakteryzującą długość czasu od chwili sporządzenia masy (czasu odleżenia masy), do czasu, po upływie którego masa nadaje się do formowania. Niektóre masy można przechowywać długo,

bez obawy utraty właściwości technologicznych (np. masy na bazie lepiszcza – żywotność bardzo długa). Do mas o krótkiej i ograniczonej żywotności należą przede wszystkim masy samoutwardzalne oraz masy szybkowiążące.

Gazotwórczość – jest to skłonność masy do wydzielania gazów na wskutek oddziaływania temperatury ciekłego tworzywa odlewniczego na niektóre składniki masy (procesy parowania, wydzielanie wody chemicznie związanej, zgazowania, dysocjacji, spalania i inne).

Podatność – jest to zdolność masy do nie stawiania oporu kurczącemu się odlewowi podczas jego stygnięcia w formie. Wskutek mechanicznego hamowania przez masę skurczu odlewu oraz w skutek rozszerzania się masy powstają w odlewie lub jego częściach naprężenia rozciągające lub ścinające. W przypadku, gdy wartość tych naprężeń przekroczy wytrzymałość materiału odlewu w danej temperaturze, mogą powstać pęknięcia lub odkształcenia odlewu.

4.3. Wskaźniki wytrzymałości mas

Wskaźniki wytrzymałości mas formierskich i rdzeniowych charakteryzują odporność masy na wywierane obciążenia zewnętrzne, przy których następuje trwałe odkształcenie badanej kształtki laboratoryjnej.

Do oceny wytrzymałości mas przyjmuje się następujące wskaźniki:

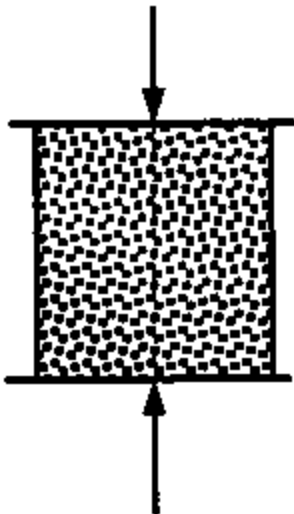
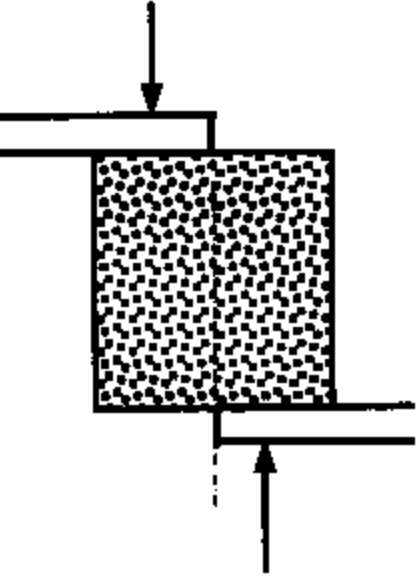
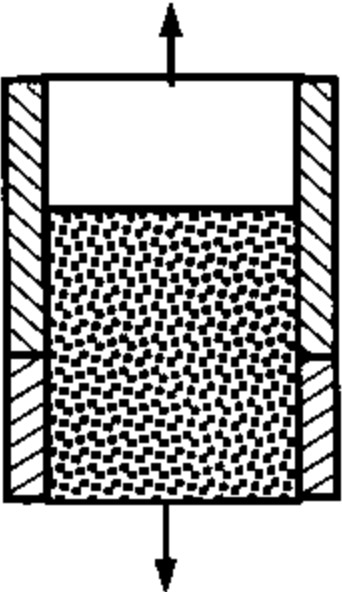
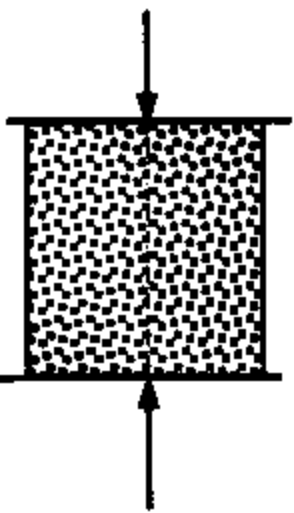
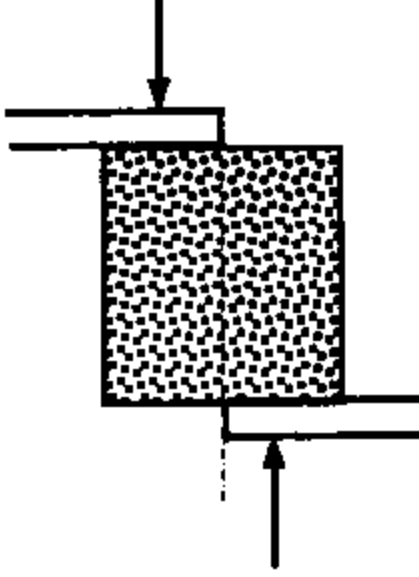
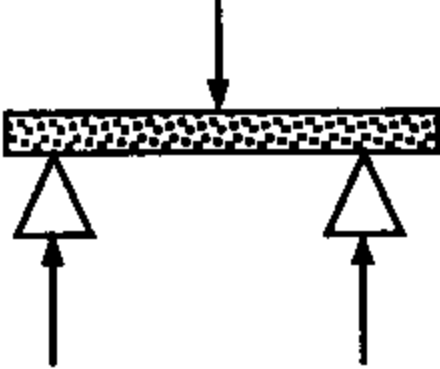
- 1) na ściskanie R_c : na wilgotno R_c^w i po utwardzeniu R_c^u ,
- 2) na ścinanie R_t : na wilgotno R_t^w i po utwardzeniu R_t^u ,
- 3) na zginanie R_g : na wilgotno R_g^w i po utwardzeniu w czasie $\tau R_g^{u\tau}$,
i po utwardzeniu na gorąco $R_g^{u\tau g}$,
- 4) na rozciąganie R_m : na wilgotno R_m^w i po utwardzeniu w czasie $\tau R_m^{u\tau}$.

Przy określaniu wskaźników wytrzymałości mas badania laboratoryjne odnoszą się do temperatury otoczenia, tj. $20 \pm 10^\circ\text{C}$. Nie dotyczy to kształtek z ciekłych mas samoutwardzalnych (CMS), mas na formy i rdzenie skorupowe oraz mas na rdzenie wykonywane metodą gorącej rdzennicy.

Określenie: „na wilgotno” odnosi się do mas klasycznych (głównie bentonitowych), „po wysuszeniu” – dla mas na formy używane w stanie wysuszonym, a „po utwardzeniu w czasie” – dla mas, w których wiązanie następuje w wyniku procesów chemicznych. Natomiast wytrzymałość $R_g^{u\tau g}$ oznacza się tylko dla mas do form skorupowych.

Badania wytrzymałości mas formierskich i rdzeniowych przeprowadza się na specjalnych kształtkach wykonanych w specjalnych foremkach poprzez zagęszczenie trzykrotnym uderzeniem ciężarka ubijaka laboratoryjnego.

Zasady oznaczania wytrzymałości mas formierskich i rdzeniowych przedstawia rys. 4.1.

Badanie	Ściskanie	Ścinanie	Zginanie	Rozciąganie
Kształtki wilgotne				
Kształtki suszone				

Rys. 4.1. Zasady badań wytrzymałości mas formierskich

Na wytrzymałość mas formierskich i rdzeniowych wpływają następujące czynniki:

- rodzaj osnowy ziarnowej i jej jednorodność,
- kształt i wielkość osnowy ziarnowej,
- ilość i jakość materiałów wiążących (lepiszcze, spoiwo),
- stopień zagęszczenia,
- proces sporządzania masy (kolejność dozowania składników, skuteczność mieszania),
- temperatura,
- wilgotność.

Określane wartości liczbowe wytrzymałości mas w temperaturze pokojowej mogą być wykorzystywane do porównania mas między sobą oraz wykorzystywane do wyciągania wniosków z wytrzymałości formy do momentu zetknięcia się z ciekłym tworzywem odlewniczym.

4.4. Właściwości termofizyczne mas

Na sam proces krzepnięcia i stygnięcia odlewu w formie mają wpływ również tzw. właściwości termofizyczne mas. Wywierają one duży wpływ na strukturę i właściwości odlewów. Od nich, bowiem jest uzależniona szybkość odprowadzania ciepła przez formę. Do właściwości termofizycznych zalicza się:

1. Ciepło właściwe, w $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$.
2. Współczynnik przewodzenia ciepła, w $\text{W/m} \cdot \text{K}$.
3. Współczynnik wyrównania temperatury (współczynnik przewodzenia temperatury) w m^2/s .
4. Współczynnik akumulacji ciepła, w $\text{J/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K}$.
5. Współczynnik wyrównania ciepła między odlewem i formą (współczynnik wnikanía ciepła do formy piaskowej), w $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$.

4.5. Część praktyczna ćwiczenia

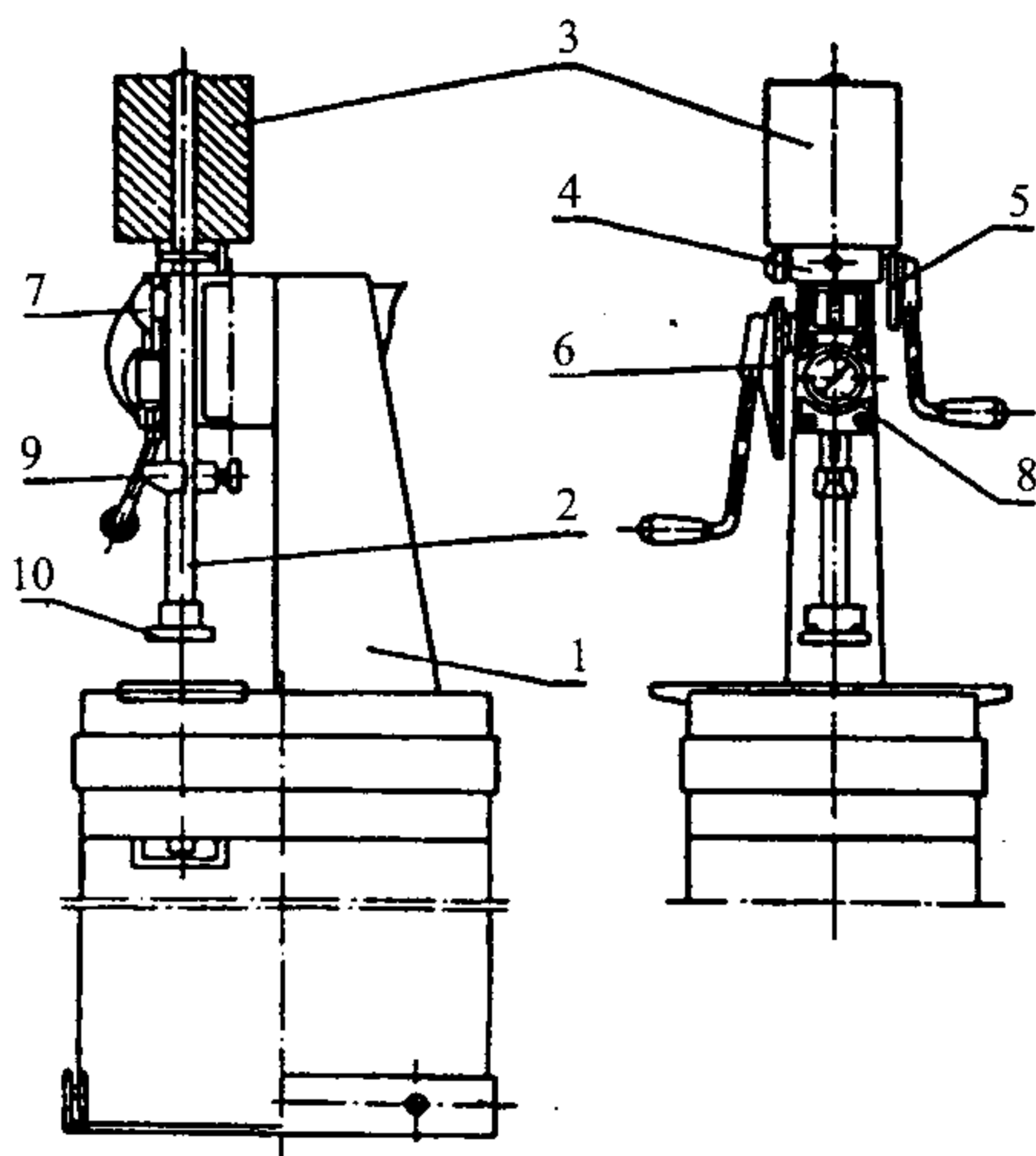
4.5.1. Cel i zakres ćwiczenia

Ćwiczenie ma na celu zapoznanie się z metodą pomiaru przepuszczalności i wytrzymałości masy formierskiej na bazie lepiszcza. Zasadą działania aparatu do badania przepuszczalności i wytrzymałości mas wilgotnych i suchych. Wykonanie próbek oraz dokonanie pomiaru przepuszczalności i wytrzymałości. Porównanie wyników pomiarów oraz przeprowadzenie analizy wpływu czynników na przepuszczalność i wytrzymałość mas formierskich.

4.5.2. Oznaczanie płynności masy formierskiej metodą Valtiera – Dieterta

Metoda polega na pomiarze za pomocą czujnika zegarowego stopnia odkształcenia znormalizowanej kształtki walcowej pomiędzy czwartym a piątym uderzeniem ciężarka - ubijaka typu LU (rys. 4.2). Ustaloną doświadczalnie ilość masy formierskiej należy wsypać do tulejki formującej kształtkę walcową. Następnie czterokrotnie zagęścić ubijakiem rozpoczynając gdy stopka ubijaka spoczywa na powierzchni próbki.

Poprzez czterokrotne zagęszczenie należy uzyskać wysokość próbki granicach 50 ± 1 mm. Następnie na trzpień główny ubijaka założyć obejmę tak, aby ona dotykała końcówki czujnika. Wyzerować czujnik i zagęścić piąty raz ciężarkiem ubijaka. Różnicę zmiany wysokości próbki odczytać z dokładnością 0,01 mm. Wyniki pomiarów podstawić do wzoru, a obliczenia zapisać w tabelce pomiarowej.



Rys. 4.2. Ubijak laboratoryjny, typ LU: 1 – korpus, 2 – wałek pionowy, 3 – ciężarek walcowy, 4 – jarzmo, 5 – podnośnik ciężarka, 6 – krzywka, 7 – wzornik z soczewką, 8 – czujnik zegarowy, 9 – uchwyt, 10 – stopka wymienna

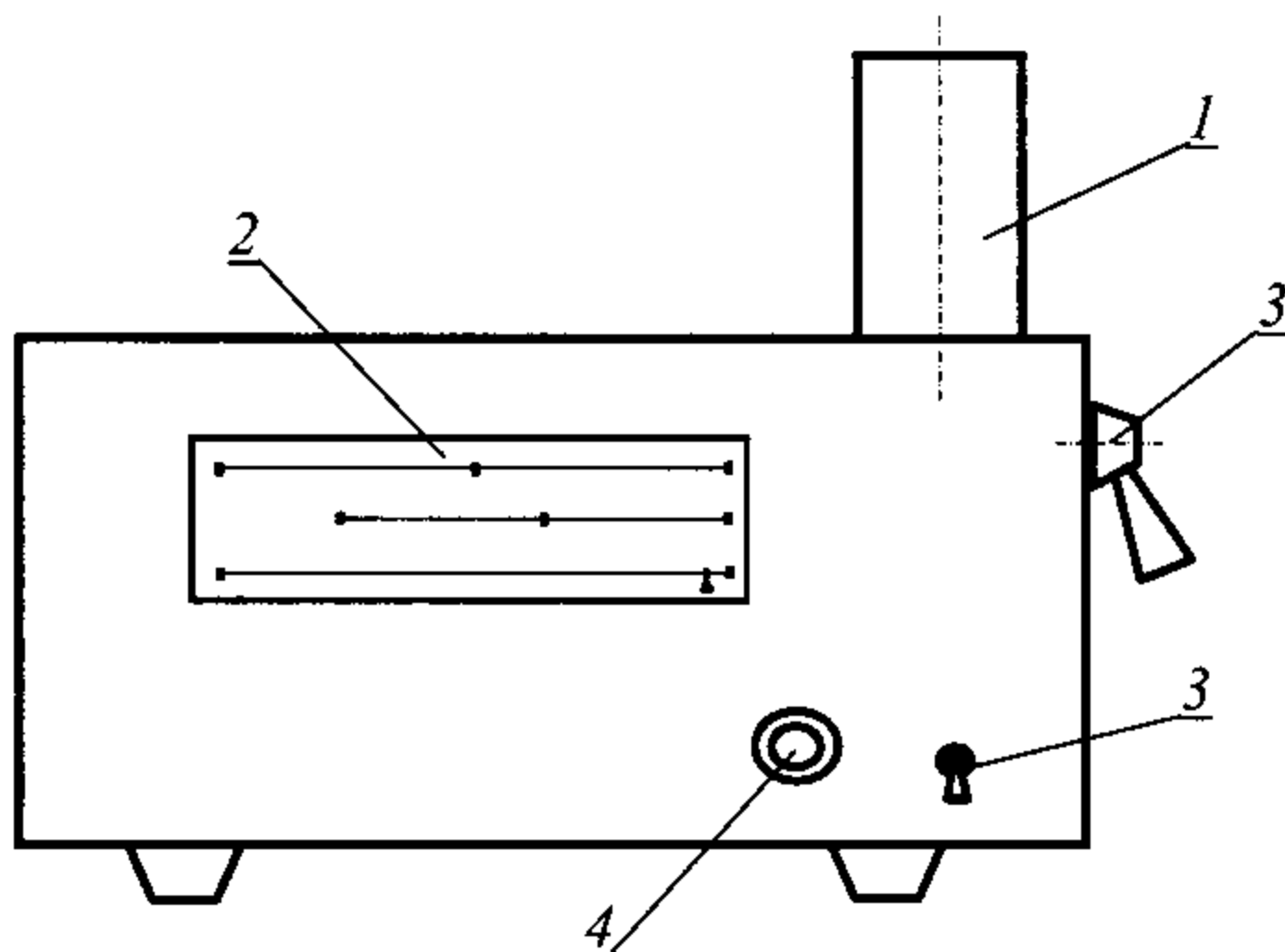
4.5.3. Badanie przepuszczalności

Do badania przepuszczalności oraz badania wytrzymałości na ściskanie (R_c) lub ścinanie (R_t) używa się tych samych próbek walcowych o wymiarach $\varnothing 50 \pm 0,8$, $h = 50 \pm 0,1$ mm.

Masę w ilości ustalonej doświadczalnie (do uzyskania $h = 50 \pm 0,1$ mm należy wsypać do foremki walcowej. Foremkę z masą wraz z podstawką umieścić w ubijaku i następnie powoli opuścić stopkę dociskową, aby oparła się lekko na masie. W następnej kolejności próbkę zagęścić poprzez trzykrotne opuszczenie ciężarka (9,8J) ubijaka w odstępach 1 s.

Wysokość zagęszczonej próbki sprawdzić za pomocą kresek tolerancyjnych oznaczonych na ruchomej i stałej części ubijaka. Odległość skrajnych kresek tolerancyjnych wynosi 2 mm. Próbkę wyższą od 51 mm oraz niższą od 49 mm należy odrzucić.

Tulejkę wraz z próbką należy założyć na głowicę aparatu do badania przepuszczalności (rys. 4.3) i uszczelnić za pomocą pokrętła tak, aby przepływ powietrza w czasie pomiaru odbywał się tylko przez badaną próbkę. Pomiar rozpoczynamy od dyszy o średnicy 0,5 mm, a w przypadku odczytanej przepuszczalności przekraczającej $700 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{Pa} \cdot \text{s}$ przejść na dyszę o średnicy 1,5 mm. Wykonać pomiar przepuszczalności, a wyniki zamieścić w tabeli.



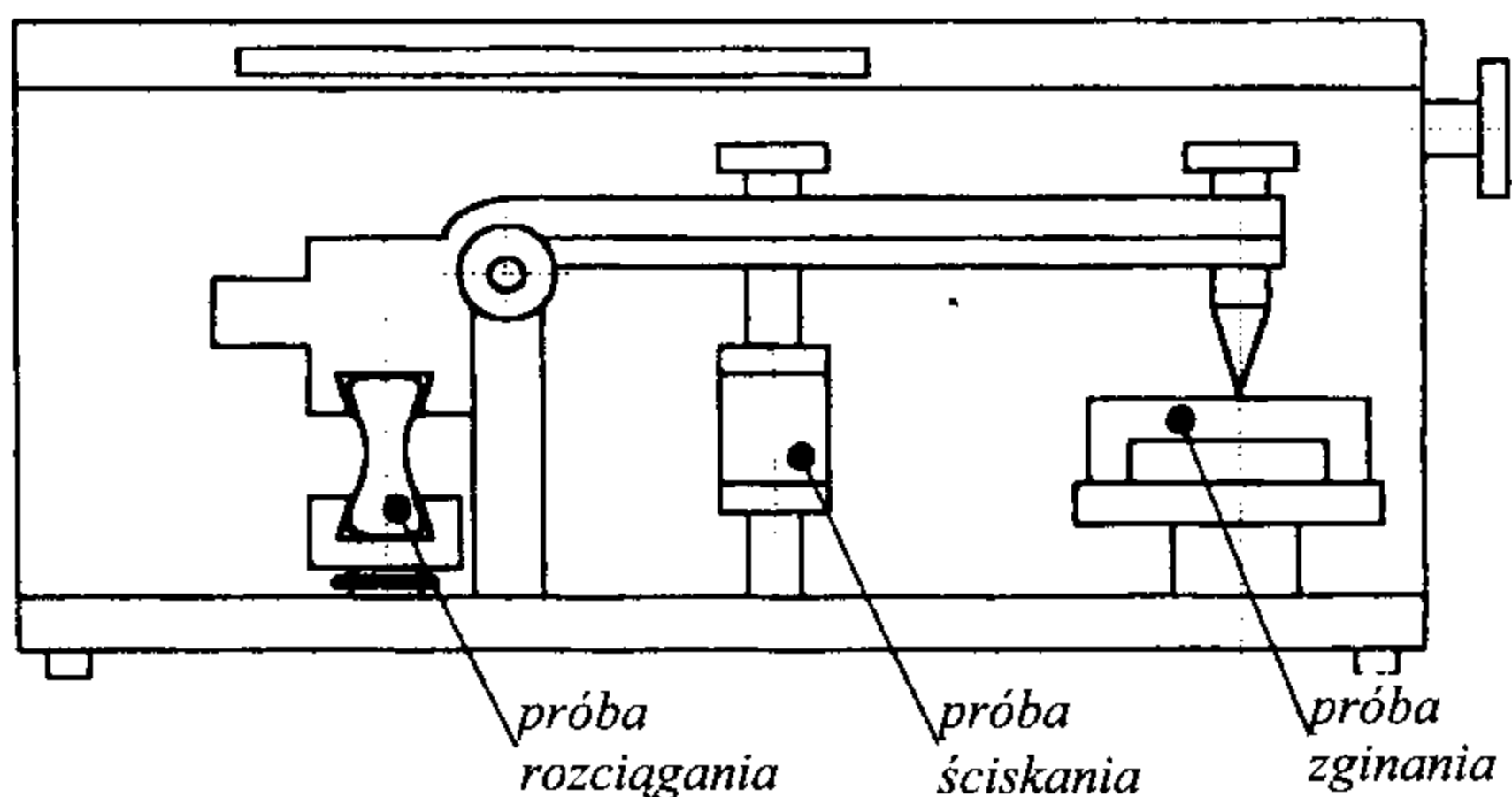
Rys. 4.3. Aparat do badania przepuszczalności mas formierskich typ LpiR:

1 – miejsce zamocowania próbki masy, 2 – skala manometru, 3 – wyłącznik

4.5.4. Wykonanie pomiaru wytrzymałości na ściskanie i ścinanie

W zależności od rodzaju badanej wytrzymałości, próbkę walcową (wykorzystaną z pomiaru przepuszczalności – po wypchnięciu z tulejki formującej) umieścić w odpowiedniej szczelce aparatu LRu do pomiaru wytrzymałości mas formierskich (rys. 4.4). Następnie należy uruchomić aparat obciążając próbkę aż do jej zniszczenia. Wartość badanej wytrzymałości odczytać z odpowiedniej skali aparatu i zamieścić w tabeli.

Dokonać analizy wyników pomiarów (wg wzoru 3.4). Za wynik badania należy uznać średnią arytmetyczną z trzech pomiarów. W przypadku rozbieżności należy w sprawozdaniu dokonać udowodnienia przyczyn nie przyjęcia wyników badań.



Rys. 4.4. Schemat aparatu do badania wytrzymałości mas formierskich i rdzeniowych, typ LRu

4.5.5. Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Opis i warunki wykonania badań właściwości technologicznych i wytrzymałościowych mas formierskich.
2. Zamieszczenie wyników pomiarów w tabelce.
3. Opracowanie wyników poprzez:
 - określenie dopuszczalnej różnicy między wynikami pomiarów,
 - określenie wyniku końcowego,
 - wnioski końcowe z przeprowadzonych badań.

4.6. Literatura:

1. Sakwa W., Wachelko T.: *Materiały na formy i rdzenie odlewnicze*. Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice 1981.
2. Rączka J.: *Technologia odlewnictwa*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1988.
3. Jopkiewicz A. i inni: *Odlewnictwo – laboratorium*. Praca zbiorowa. Skrypt Politechniki Łódzkiej. Łódź 2001.
4. Lewandowski L.: *Masy formierskie rdzeniowe*. PWN. Warszawa 1991.

5. Sporządzanie i badanie właściwości mas formierskich i rdzeniowych na bazie spoiw nieorganicznych i organicznych

5.1. Wprowadzenie

Wśród mas używanych zarówno do wykonywania form, jak i rdzeni odlewniczych szerokie zastosowanie mają masy wytwarzane na bazie spoiw nieorganicznych i organicznych.

W zależności od zastosowanego spoiwa i sposobu utwardzania, masy dzielą się na:

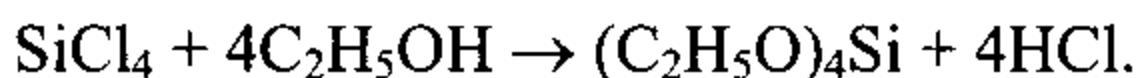
- 1) samoutwardzalne w temperaturze otoczenia,
- 2) utwardzalne w podwyższonej temperaturze – masy termoutwardzalne,
- 3) szybkoutwardzalne w temperaturze otoczenia,
- 4) utwardzalne bez ogrzewania.

5.2. Spoiwa nieorganiczne

Szkło wodne sodowe (krzemian sodu) $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ – roztwór wodny produktu stopienia krzemionki SiO_2 z węglanem sodu Na_2CO_3 .

O jakości szkła wodnego sodowego decyduje tzw. moduł szkła wodnego, którego wartość powinna wynosić $2,0 \div 2,9$. Czym mniejszy moduł tym lepiej (mniejsza lepkość).

Krzemian etylu (czteroetylokrzemian) – produkt otrzymywany w procesie reakcji czterochlorku krzemu i alkoholu etylowego (ester kwasu krzemowego i alkoholu etylowego).



Krzemian etylu jest materiałem wyjściowym do sporządzania mas o wysokiej ogniotrwałości.

Cement (najczęściej portlandzki) – jest mieszaniną różnych krzemianów i glinianów wapnia, np. 3CaOSiO_2 , 2CaOSiO_2 , $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$.

Gips – jest minerałem o wzorze $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. W odlewnictwie ma zastosowanie tzw. gips modelarski, którego czas wiązania wynosi $40 \div 60$ min. Gips podczas wiązania zwiększa swoją objętość, stąd też wynikają problemy z oddzieleniem układu model – forma.

5.3. Masy ze spoiwami nieorganicznymi

5.3.1. Sypkie masy szybkowiązące ze szkłem wodnym. Proces CO_2

Masa ze szkłem wodnym składa się z płukanego piasku kwarcowego ($2\text{K} \div 3\text{K}$) z dodatkiem szkła wodnego w ilości $4 \div 6\%$. Do mas ze szkłem wodnym często dodaje się $3 \div 5\%$ glinki kaolinitowej w celu powiększenia wytrzymałości masy przed jej utwardzeniem. Natomiast w celu polepszenia wybijalności dodaje się różne inne spoiwa organiczne, np.: dekstrynę, żywice syntetyczne, ług posiarczanowy itp.

Utwardzenie masy uzyskuje się w wyniku procesu dehydratacji (odwodnienia) szkła wodnego sodowego. Proces ten może być prowadzony poprzez:

- wprowadzenie dwutlenku węgla CO_2 ,
- chlorku wapnia CaCl_2 ,
- krzemianu wapnia $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$,
- węglika wapnia CaC_2 ,
- ciekłych estrów (niektórych).

Utwardzanie form i rdzeni wykonanych z tych mas najczęściej wykonuje się poprzez przedmuchanie dwutlenkiem węgla CO_2 . Utwardzenie za pomocą wprowadzenia do masy CO_2 zachodzi zgodnie z reakcją:



Końcowy produkt reakcji SiO_2 występuje w masie w postaci żelu krzemionkowego, który jest spoiwem i wiąże ziarna osnowy piaskowej.

Masy ze szkłem wodnym są wrażliwe na działanie dwutlenku węgla znajdującego się w powietrzu atmosferycznym. Przedłużenie czasu mieszania powoduje dezaktywację krzemianu sodu. Dlatego czas mieszania składników masy powinien być jak najkrótszy, jednak taki, aby umożliwił należyte rozprowadzenie spoiwa i wymieszanie masy.

Dobór właściwej zawartości szkła wodnego zasadowego w masach na osnowie piasku kwarcowego zależy od jego ziarnistości (wpływ powierzchni właściwej).

Do zalet mas ze szkłem wodnym należy zaliczyć:

- mniejszą pracę zagęszczania,
- zwiększoną dokładność wymiarową odlewu,
- krótki czas utwardzania.

Do wad mas formierskich ze szkłem wodnym zalicza się:

- konieczność stosowania płukanego i suszonego piasku kwarcowego,
- dużą przyczepność masy do powierzchni rdzennic i modeli (konieczność stosowania oddzielaczy),
- zwiększoną gazotwórczość i małą podatność,
- niezbyt dobrą wybijalność, zwłaszcza rdzeni.

Sypkie masy ze szkłem wodnym mają szerokie zastosowanie do wyrobu małych i średnich rdzeni, rzadziej form na odlewy żeliwne, stalowe oraz stopów aluminium i miedzi.

5.3.2. Ciekłe masy samoutwardzalne ze szkłem wodnym (CMS)

Ciekłe masy samoutwardzalne ze szkłem wodnym mają zastosowanie do wykonywania form i rdzeni w przypadku wyeliminowania procesu zagęszczania masy.

W skład ciekłych mas samoutwardzalnych ze szkłem wodnym wchodzi:

- płukany, suszony piasek kwarcowy z dodatkiem ewentualnie regeneratu,
- szkło wodne sodowe,
- utwardzacz, np. żużel chromowy,
- spieniacz,
- przyspieszacz (regulator utwardzania – aktywizator).

Czas samoutwardzenia form i rdzeni można regulować w szerokim zakresie, zależnie od technologii i wymagań produkcyjnych.

Formy i rdzenie wykonane z tych mas mają bardzo dużą przepuszczalność (rzędu $510 \div 680 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{Pa} \cdot \text{s}$) oraz małą gęstość pozorną. Wysoka porowatość jest korzystna przy zwalczaniu pęcherzy gazowych w odlewach, sprzyja to natomiast penetracji metalu na ścianki formy (wady powierzchniowe odlewu).

Podobnie jak w masach sypkich (szybkowiązających) do wytwarzania form i rdzeni, konieczne jest stosowanie oddzielaczy oraz pokryw ochronnych zapobiegających przywieraniu masy do odlewu.

5.3.3. Masy cementowe

Masy cementowe składają się z piasku kwarcowego oraz $6 \div 15\%$ cementu (najlepiej portlandzkiego) i $5 \div 10\%$ wody. Im lepsza jest jakość cementu (wyższa marka), tym mniejszy powinien być jego dodatek.

Masy na bazie spoiwa cementowego mogą być sporządzane jako sypkie i ciekłe masy samoutwardzalne. Dodatkowymi składnikami ciekłych mas

cementowych są spieniacze i aktywizatory (różnego rodzaju związki nieorganiczne i organiczne).

Istotną zaletą ciekłych mas cementowych jest możliwość ich sporządzania z piasku regenerowanego (regeneratu), nawet przy 100% jego udziale.

Do wad mas cementowych należy niezbyt dobra jakość powierzchni odlewu oraz przywieranie mas do powierzchni modelu i rdzennic.

Wybijalność i przepuszczalność ciekłych mas cementowych jest znacznie lepsza niż wybijalność i przepuszczalność mas sypkich z tym spoiwem.

Masy cementowe stosowane są zarówno do wykonywania dużych form, jak i rdzeni w produkcji jednostkowej i małoseryjnej grubościennych odlewów z żeliwa i staliwa.

5.4. Spoiwa organiczne – żywice syntetyczne

Najpowszechniej stosowanymi w przemyśle odlewniczym spoiwami organicznymi są żywice syntetyczne termoutwardzalne i chemoutwardzalne.

Żywice termoutwardzalne pod działaniem temperatury ulegają wewnętrznym przemianom chemicznym, w wyniku których stają się one praktycznie nierozpuszczalne i nietopliwe. Dalsze przetrzymywanie w temperaturze utwardzania lub w zwiększonej temperaturze powoduje ich rozkład.

Charakterystyczną cechą żywic chemoutwardzalnych jest przechodzenie w stan stały w temperaturze pokojowej pod działaniem środka chemicznego (utwardzacza, aktywatora).

Do żywic syntetycznych, mających zastosowanie w procesach odlewniczych należą:

Żywice mocznikowo-formaldehydowe – produkt polikondensacji mocznika $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ z formaldehydem HCHO . Utwardzanie tych żywic może zachodzić:

- pod wpływem podwyższonej temperatury (*termoutwardzalne*),
- w podwyższonej temperaturze w obecności utwardzacza (*szybkowiązące*),
- w obecności utwardzacza w temperaturze otoczenia (*samoutwardzalne*).

Żywice melaminowo-formaldehydowe (melaminowe) produkt kondensacji melaminy $\text{C}_3\text{N}_3(\text{NH}_2)_3$. Żywice te mają podobne zastosowanie do żywic mocznikowo-formaldehadowych oraz o podobnych reakcjach w ich utwardzaniu.

Żywice fenolowo-formaldehydowe – produkt polikondensacji fenolu $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ z formaldehydem HCHO . Jedną z odmian tych żywic są tzw. żywice nowolakowe. Żywice nowolakowe są substancjami stałymi, utwardzanymi

w podwyższonej temperaturze z dodatkiem utwardzacza. Wykorzystywane przede wszystkim w metodzie formowania skorupowego. Temperatura mięknienia $140 \div 180^{\circ}\text{C}$.

Drugą odmianą żywic fenolowo-formaldehydowych są tzw. żywice rezolowe (w postaci stałej lub ciekłej). Żywice rezolowe mają zastosowanie w sporządzaniu sypkich mas szybkowiązących (metoda gorącej rdzennicy) oraz sypkich mas samoutwardzalnych.

Żywice furfurylowe (furanowe) – produkt procesów chemicznych aldehydu furfurylowego $\text{C}_5\text{H}_4\text{OH}$. Żywice te utwardzają się w normalnej temperaturze i są stosowane jako spoiwa do mas samoutwardzalnych.

5.5. Masy ze spoiwami organicznymi

5.5.1. Sypkie masy szybkowiązące (SMT) - termoutwardzalne

Masy szybkowiązące są to kompozycje utwardzane w podwyższonej temperaturze w obecności utwardzacza, a proces wiązania ziaren osnowy w tych masach zachodzi w wyniku reakcji chemicznych. Skład i charakter chemiczny stosowanego utwardzacza zależy od rodzaju (gatunku) żywicy (utwardzacze: kwaśne, zasadowe, utajone). Dla potrzeb podniesienia właściwości technicznych mas mogą być dodawane różnego rodzaju dodatki polepszające.

Osnowę ziarnową mas szybkowiązących mogą stanowić piaski kwarcowe, cyrkonowe, oliwne, piasek chromitowy (rzadziej stosowany).

Masy szybkowiązące mogą występować w postaci mieszaniny składników tych mas oraz postaci piasku kwarcowego, którego ziarna posiadają otoczkę z żywicy syntetycznej.

Masy szybkowiązące mają zastosowanie w następujących procesach wytwarzania form i rdzeni (metody specjalne):

- formowania skorupowego (Croninga, Dieterta),
- gorącej rdzennicy (HOT – BOX),
- przedmuchania podgrzanym powietrzem (WARM AIR),
- skokowego utwardzania cieplnego (THERMOSCHOCK).

5.5.2. Sypkie masy samoutwardzalne (SMS) z żywicami syntetycznymi

Masy samoutwardzalne są to kompozycje, w których utwardzenie zachodzi w temperaturze otoczenia w wyniku reakcji polikondensacji żywicy

syntetycznej. Do przebiegu tej reakcji jest niezbędne wprowadzenie utwardzacza, którego charakter chemiczny zależy od warunków kondensacji żywicy.

W masach zaliczanych do tej grupy jako spoiwo używane są przede wszystkim żywice: fenolowe, mocznikowe, formaldehydowe oraz najpopularniejsze żywice furfurylowe (furanowe). Dodatek spoiwa w zależności od przeznaczenia masy oraz gatunku żywicy wynosi $1 \div 3\%$ wagowo w odniesieniu do osnowy ziarnowej.

Osnowę piaskową mas samoutwardzalnych mogą stanowić piaski (trój- albo cztero-frakcyjne - bez frakcji pylistej), zwykle kwarcowe (min. $96\% \text{SiO}_2$) oraz cyrkonowe i chromitowe dla odlewów staliwnych.

Istotnym jest również temperatura używanych piasków w sporządzaniu tych mas, powinna ona wynosić $15 \div 20^\circ\text{C}$, a ich wilgotność nie większa niż 1% .

Do utwardzania żywicy, a zatem do związania ziaren osnowy ziarnowej stosuje się wyłącznie utwardzacze kwaśne – kwasy organiczne i nieorganiczne.

Na ilość dodawanego utwardzacza wpływają następujące czynniki:

- ilość i jakość żywicy,
- kształt i wielkość ziarna,
- jakość i jednorodność osnowy piaskowej,
- temperatura składników masy,
- temperatura otoczenia,
- rodzaj tworzywa modelu lub rdzennicy (wpływ szybkości przyjmowania i odprowadzania ciepła),
- wymagana żywotność masy (reakcje utwardzania zaczynają przebiegać już w trakcie mieszania),
- sposobu dozowania i mieszania składników masy.

Ilość utwardzacza ustala się w zależności od wyżej wymienionych czynników i podaje się w stosunku do ilości żywicy, np.:

- kwas ortofosforowy (H_3PO_4) – $20 \div 60\%$,
- kwas benzeno-sulfonowy ($\text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{H}$) – $20 \div 60\%$,
- kwas para-tolueno-sulfonowy ($\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_2\text{Cl}$) – $15 \div 65\%$.

W celu zabezpieczenia odlewu przed powstawaniem nakłuc (odlewy ze staliwa i żeliwa sferoidalnego), występujących w skutek szkodliwego oddziaływania azotu zawartego w żywicy, dodaje się do masy niekiedy Fe_2O_3 w ilości 1% . Innym dodatkiem podnoszącym wytrzymałość masy są tzw. silany, dodawane w ilości $0,3 \div 0,5\%$ w stosunku do ilości żywicy (gatunek zależy od rodzaju żywicy).

Sypkie masy samoutwardzalne (SMS) znajdują zastosowanie do wykonywania średnich i dużych rdzeni od najprostszych do najbardziej skomplikowanych oraz w mniejszym stopniu do wykonywania form w odlewnictwie żeliwa i stopów metali nieżelaznych.

5.5.3. Ciekłe masy samoutwardzalne (CMS) z żywicami syntetycznymi

Ciekłe masy samoutwardzalne z żywicami syntetycznymi sporządzane są najczęściej na bazie żywic mocznikowo-formaldehydowych i mocznikowo-furfurylowych ze względu na ich dobrą rozpuszczalność w wodzie, co też ułatwia przeprowadzenie mas w stan ciekły. Utwardzenie mas następuje w temperaturze otoczenia.

Przykładowy skład ciekłej masy samoutwardzalnej przedstawia się następująco (np. proces Synflo):

- piasek kwarcowy,
- żywica karbamidowa - $3,5 \div 4,0\%$,
- utwardzacz (H_3PO_4 o stężeniu 75%) - $0,3 \div 0,5\%$,
- gips budowlany - ok. $1,0\%$,
- spieniacz - ok. $0,05\%$,
- woda $2,5 \div 3,0\%$.

W praktyce odlewniczej można również spotkać inne przykłady ciekłych mas samoutwardzalnych z żywicami syntetycznymi.

Ciekłe masy samoutwardzalne z żywicami syntetycznymi charakteryzują się bardzo dobrą wybijalnością form i rdzeni oraz prostotą ich wytwarzania.

5.6. Część praktyczna ćwiczenia

5.6.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie ze składnikami (surowcami) do wytwarzania mas na bazie spoiw do wytwarzania form i rdzeni. Studenci wykonują masę szybkowiązącą na szkle wodnym sodowym - „proces CO_2 ” oraz SMS ze spoiwem furanowym. W trakcie ćwiczenia studenci wykonują rdzenie oraz próbki ósemkowe do pomiaru wytrzymałości na rozciąganie (R_m) z masy szybkowiąjącej (proces CO_2).

5.6.2. Wykonanie próbek ósemkowych. Proces CO₂

Składniki masy (dokładność ważenia 0,05 g):

- piasek kwarcowy 70 g,
- szkło wodne sodowe (5% wagowo).

Powyższe składniki dokładnie wymieszać, aby szkło wodne sodowe zwilżyło ziarna piasku kwarcowego. Masę luźno i równomiernie wsypać do foremki ósemkowej z podstawką i nastawką z naddatkiem masy około 3 mm. Foremkę z masą umieścić w ubijaku LU i opuścić powoli ósemkową stopkę dociskową tak, aby oparła się ona na masie. Następnie próbkę należy zagęścić poprzez trzykrotne opuszczenie ciężarka ubijaka w odstępach 1 s. Po zagęszczeniu i wyjęciu z ubijaka usunąć nadmiar masy listwą zgarniającą. Próbkę należy zamknąć od góry korkiem gumowym z węzłem doprowadzającym CO₂, zdjęć podstawkę, a następnie przedmuchać ciśnieniem 0,05 do 0,1 MPa przez 20 s (proces dehydratacji). Z każdej masy wykonanej osobno wykonać 5 próbek ósemkowych. Po tym czasie wykonać 5 pomiarów wytrzymałości wykonanych próbek na rozciąganie R_m , korzystając z przyrządu LRu. Wyniki zapisać w tabelce i przeprowadzić analizę wyników pomiarów.

5.6.3. Wykonanie rdzenia z masy szybkowiążącej

Na rdzeń należy wykonać masę z tych samych składników, co próbka ósemkowa. Przygotować rdzennicę, a jej powierzchnię wewnętrzną pokryć olejem silikonowym, zapobiegającym przyklejaniu się masy do rdzennicy. Wypełnić rdzennicę masą, zagęszczając ją za pomocą ręcznego ubijaka od strony znaków rdzeniowych. Utwardzić rdzeń CO₂ ciśnieniem od 0,05 do 0,1 MPa w czasie 60 s. Rozmontować rdzennicę i wyjąć rdzeń (rdzeń przygotować do wykonania odlewu w formie piaskowej).

5.6.4. Wykonanie rdzenia z masy samoutwardzalnej (SMS) ze spoiwem furanowym (masa furanowa)

Składniki masy (ważenie z dokładnością 0,05 g):

- płukany i suszony piasek kwarcowy 1 K o frakcji M,
- spoiwo – ciekła żywica furanowa (furfurylowa), np.: *Karbafur Z* w ilości 2 ÷ 3 % wagowo piasku kwarcowego,
- utwardzacz – kwas ortofosforowy (H₃PO₄) o stężeniu 70 ÷ 85% w ilości 20 ÷ 60% w stosunku do żywicy.

Masę furanową należy sporządzić możliwie szybko, gdyż proces utwardzania zaczyna się od momentu zetknięcia się żywicy z utwardzaczem (mała żywotność mas). Szybkość utwardzania zależy w dużym stopniu od zawartości i stężenia kwasu H_3PO_4 . W pierwszej kolejności do piasku kwarcowego należy wlać utwardzacz po powierzchni piasku i dokładnie mieszając rozprowadzić go po powierzchni ziaren piasku. W następnej kolejności dodać żywicę i mieszać krótko, nie dłużej niż 2 min. Po zakończonym procesie mieszania przechylić zbiornik i wypełnić rdzennicę. Zagęścić masę przy pomocy ręcznego ubijaka od strony znaków rdzeniowych. Nadmiar masy zgarnąć oraz oczyścić dokładnie mieszadło z resztki masy. Wykonać w rdzeniu otwór $\varnothing 4$ do odgazowania. Po wykonaniu tych czynności odstawić rdzennicę do czasu związania masy. Otworzyć rdzennicę i wyjąć rdzeń (rdzeń przygotować do wykonania odlewu w formie skorupowej).

Poza podstawowymi właściwościami mas, tj. wskaźnikami wytrzymałościowymi, gazotwórczością, przepuszczalnością oraz ścieralnością samoutwardzalną masę furanową charakteryzują następujące dodatkowe parametry:

- żywotność τ_z – czas od chwili zetknięcia spoiwa z utwardzaczem, po którym można wykorzystać masę do wykonania rdzenia lub formy o wymaganych właściwościach,
- czas wiązania τ_w – czas od chwili zetknięcia spoiwa z utwardzaczem po którym można usunąć model z formy lub rdzeń z rdzennicy,
- czas utwardzania τ_u – czas od chwili zetknięcia spoiwa z utwardzaczem, po którym masa uzyskuje wymagane właściwości techniczne.

Żywotność masy furanowej zmniejsza się w miarę zwiększenia ilości i stężenia utwardzacza, temperatury piasku oraz czasu wiązania.

Czas wiązania masy furanowej powinien być możliwie jak najkrótszy. Decydujące znaczenie dla tego parametru mają te same czynniki, co dla żywotności. Każde skrócenie czasu wiązania powoduje zmniejszenie żywotności masy.

5.6.5. Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Krótki opis technologii wykonywanych mas formierskich.
2. Krótki opis użytej aparatury.
3. Wyniki badań wytrzymałości mas w ujęciu tabelarycznym i analizą (wg wzoru 3.4).
4. Wnioski końcowe z interpretacją wyników badań i zaobserwowanych zjawisk podczas wykonywania mas, próbek i rdzeni.

5.7. Literatura

1. Sakwa W., Wachelko T.: *Materiały na formy i rdzenie odlewnicze*. Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice 1981.
2. Perzyk M. i inni: *Odlewnictwo*. PWN. Warszawa 2000; 2004.
3. Rączka J.: *Technologia odlewnictwa*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1988.
4. Lewandowski L.: *Masy formierskie i rdzeniowe*. PWN. Warszawa 1991.

6. Specjalne metody wytwarzania form i rdzeni

6.1. Wstęp

Podstawowym zadaniem specjalnych metod wytwarzania form i rdzeni jest uzyskanie wyższych dokładności wymiarowych, polepszenie gładkości powierzchni odlewów, zwiększenie wydajności procesu i jego automatyzacja.

W zależności od miejsca utwardzenia formy lub rdzenia metody wytwarzania form i rdzeni, można podzielić na dwie grupy.

Do pierwszej grupy zalicza się procesy, gdzie utwardzenie rdzenia zachodzi po wyjęciu go z rdzennicy przez suszenie – przy zastosowaniu sypkich mas wolnowiązających (SMW), np.: oleje, skrobia, dekstryna, melasa itp.

Druga grupa to procesy, gdzie utwardzenie zachodzi w rdzennicy:

- a) poprzez ogrzewanie:
 - formowanie skorupowe,
 - proces gorącej rdzennicy.
- b) bez podgrzewania:
 - ciekłe masy samoutwardzalne,
 - proces zimnej rdzennicy (w masach żywicznych),
 - proces CO_2 ,
 - masy cementowe.

Wyższą dokładność wymiarową rdzeni uzyskuje się dzięki dokładnemu odwzorowaniu kształtów, wymiarów i utwardzeniu ich w rdzennicy, a wyjęty rdzeń ma już dostateczną wytrzymałość eliminującą możliwość jego odkształceń.

6.2. Technologia formowania skorupowego

Wykonanie formy skorupowej polega na nasypaniu na nagrzaną do temperatury $220 \div 280^\circ\text{C}$ płytę modelową (masy szybkowiązającej – termoutwardzalnej)) piasku kwarcowego, którego ziarna osnowy piaskowej posiadają otoczkę z żywicy ($5 \div 7\%$) fenolowo-formaldehydowej typu nowolakowego lub mieszaniny piasku z sypką żywicą ($6 \div 8\%$) z dodatkiem ($3 \div 5\%$) utwardzacza (sypka masa szybkowiążąca - SMT). Pod wpływem temperatury płyty modelowej żywica topi się, zwilża i spaja ziarna osnowy piaskowej. W wyniku zachodzących reakcji powstaje nieodwracalny stan utwardzenia masy. Substancją utwardzającą stopioną żywicę jest urotropina, która pod względem chemicznym jest sześciometylenoczteroaminą ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$).

Po $10 \div 30$ s usuwa się nadmiar masy przez odwrócenie płyty, a nie nagrzana masa jest używana powtórnie. Ostateczne utwardzenie masy następuje poprzez wygrzanie w piecu w temperaturze $300 \div 400^{\circ}\text{C}$ w czasie $1 \div 3$ minut.

W technologii formowania skorupowego wykorzystuje się dwie osobne skorupy form, które składa się i łączy (np.: przez sklejenie, skręcenie itp.) tworząc formę do zalania ciekłym tworzywem odlewniczym. Grubość skorupy wynosi $5 \div 8$ mm i zależy od składu masy, rodzaju materiału płyty modelowej, temperatury jej podgrzania oraz czasu przetrzymania masy na płycie modelowej.

Technologią formowania skorupowego wykonuje się również rdzenie odlewnicze. W tym przypadku grubość ścianki rdzenia skorupowego jest równa grubości warstwy masy, która przywarła do rdzennicy i zależy od tych samych czynników jak przy formowaniu skorupowym.

Można wyróżnić, co najmniej trzy sposoby wykonania rdzeni tą technologią:

- rdzenie wewnątrz puste,
- rdzenie utwardzone na wskroś,
- rdzenie segmentowe (z dwóch lub więcej części, sklepane).

W celu ułatwienia zdjęcia skorupy z płyty modelowej lub rdzenia z rdzennicy, należy je pokryć oddzielnikiem, którym może być np. olej silikonowy (najlepiej wykonać natryskowo).

Ze względu na koszt oprzyrządowania, technologia formowania skorupowego jest na ogół stosowana w produkcji seryjnej i masowej dokładnych odlewów żeliwnych, staliwnych i metali nieżelaznych.

6.3. Proces gorącej rdzennicy - proces HOT – BOX

Technologia gorącej rdzennicy polega na wykonywaniu rdzeni poprzez wstrzeliwanie lub nadmuchanie do nagrzanej do temperatury $150 \div 240^{\circ}\text{C}$ rdzennicy ciekłej masy termoutwardzalnej, składającej się z:

- płukanego, suchego piasku kwarcowego,
- ciekłej żywicy termoutwardzalnej w ilości $2 \div 4\%$ (np.: fenolowo – rezolowej, mocznikowo – formaldehydowej lub innych),
- utwardzacza (gatunek zależy od rodzaju żywicy).

Rdzeń zostaje w bardzo krótkim czasie ($5 \div 40$ s) utwardzony na głębokość $3 \div 10$ mm od powierzchni i może być wyjęty z rdzennicy. Dalsza reakcja utwardzania przebiega dalej w rdzeniu poza rdzennicą. Rdzenie te wykonuje się jako pełne.

Metoda ta znalazła szerokie zastosowanie w wytwarzaniu małych i średnich rdzeni w produkcji seryjnej i masowej odlewów z żeliwa szarego, ciągliwego, sferoidalnego, ze staliwa oraz ze stopów Al i Cu.

Odmianą procesu HOT-BOX jest technologia WARM-BOX, w której utwardzenie masy rdzeniowej odbywa się w temperaturze $140 \div 180^{\circ}\text{C}$.

Modyfikacją technologii gorącej rdzennicy jest technologia skokowego utwardzania cieplnego (THERMOSCHOCK), gdzie rdzenie są tylko częściowo utwardzone. Całkowite utwardzenie następuje w piecu, w temperaturze $270 \div 300^{\circ}\text{C}$.

Jako oddzielacze dla wyżej wymienionych technologii, stosowane są te same oddzielacze, co w technologii formowania skorupowego (tj.: emulsje olejów metalosilikonowych, kompozycje woskowe, oleje silikonowe).

6.4. Proces zimnej rdzennicy – proces COLD-BOX

Proces zimnej rdzennicy należy do technologii wytwarzania form i rdzeni z mas żywicznych samoutwardzalnych, których utwardzenie następuje w temperaturze otoczenia.

Przykładem metody zimnej rdzennicy jest technologia *Syncor*, w której utwardzenie rdzeni osiąga się poprzez odparowanie rozpuszczalnika. W pierwszej kolejności masę składającą się z suchego, płukanego piasku kwarcowego oraz ciekłego spoiwa Syncor wstrzeliwuje się do rdzennicy. Następnie przedmuchuje powietrzem w temperaturze otoczenia i ciśnieniu $0,3 \div 0,6 \text{ MPa}$ w czasie $5 \div 180 \text{ s}$, zależnie od wielkości, kształtu rdzenia i ciśnienia powietrza.

Odmianą technologii Syncor jest metoda *Ashlanda*, w której masa składa się z osnowy ziarnowej żywicy syntetycznej jako spoiwa i utwardzacza (masa chemoutwardzalna).

Po wstrzeleniu masy do rdzennicy w drugiej kolejności wykonuje się utwardzenie rdzeni poprzez przedmuchanie rdzennicy katalizatorem w postaci mgły, np. trójetyloaminą ($\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{N}$. Utwardzenie rdzenia następuje w czasie $5 \div 30 \text{ s}$. Po przedmuchaniu katalizatorem w dalszej kolejności rdzeń przedmuchuje się powietrzem w celu usunięcia z niego nadmiaru trójetyloaminy.

Następnym przykładem procesu zimnej rdzennicy jest technologia wykonania form i rdzeni z sypkich mas samoutwardzalnych (SMS), np. mas furanowych. Technologia ta polega na przygotowaniu masy składającej się ze spoiwa na bazie żywic furanowych i utwardzacza kwaśnego. Masa po zagęszczeniu w rdzennicy zostaje utwardzona w wyniku zachodzących reakcji chemicznych.

Proces zimnej rdzennicy może być stosowany do wykonywania zarówno form jak i do rdzeni charakteryzujących się dobrą jakością powierzchni, bardzo dobrą wybijalnością, dużą wytrzymałością itp.

W procesach odlewniczych spotyka się również inne technologie wykonania form i rdzeni, niejednokrotnie nawet chronione prawem patentowym.

6.5. Formy ceramiczne – proces Shawa

W procesie Shawa masę ceramiczną tworzy kompozycja składająca się ze sproszkowanych materiałów wysoko ogniotrwałych, jak np.: mączka cyrkonowa (najwyższe wymagania), sylimanit, mulit oraz spoiwa. Spoiwem w tej masie jest zhydrolizowany krzemian etylu rozpuszczony w spirytusie etylowym (C_2H_5OH). Proporcje składników tej masy są tak dobrane, że masa ma postać gęstego szlamu.

Szlam, który jest mieszaniną osnowy ceramicznej i spoiwa wylewa się na ustawiony na płycie model, który obramowany jest skrzynką formierską.

W początkowym okresie w czasie $0,05 \div 0,2$ godziny zachodzi proces żelowania masy. Staje się ona elastyczna i przybiera konsystencję gumy. W tym właśnie stanie model należy wyjąć z formy, co możliwe jest w zastosowaniu modeli bez zbieżności i z przeciwnymi zbieżnościami odlewniczymi.

Po wyjęciu modelu, formę wypala się wstępnie poprzez zapalenie powstających oparów alkoholu. Przed zalaniem ciekłym metalem, formę wypala się dodatkowo w temperaturze ok. $1000^{\circ}C$ w czasie kilku minut. W czasie wypalania w formie tworzy się siatka mikropeknięć, która zwiększa jej przepuszczalność oraz odporność na zmiany dylatacyjne przy zalewaniu formy ciekłym tworzywem odlewniczym.

Po wypaleniu obu połówki formy, pozostałą część formy wypełnia się masą wypełniającą, najczęściej szybkowiążącą ze szkłem wodnym, utwardzoną procesem dehydratacji, np. CO_2 .

Metoda ta umożliwia uzyskiwanie odlewów o dużej dokładności wymiarowej ($0,003 \div 0,006$ mm) i grubości ścianki odlewu $1,0 \div 3,2$ mm, a powierzchnie w odlewie są gładkie, a więc w tych przypadkach, gdy chodzi o całkowite lub częściowe wyeliminowanie obróbki mechanicznej.

Dzięki swoim zaletom, metoda ta znalazła zastosowanie do odlewania kokil, matryc do tłoczenia, stempli, form szklarskich itp. Jest to metoda dość droga i może być stosowana w przypadkach uzasadnionych ekonomicznie i technicznie.

6.6. Część praktyczna ćwiczenia

6.6.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z wybranymi metodami wykonywania rdzeni oraz specjalnymi metodami wytwarzania form z zastosowaniem mas na bazie spoiw nieorganicznych i organicznych.

W czasie ćwiczenia studenci poznają zasadę pomiaru i wpływ czynników na właściwości wytrzymałościowe – zginanie sypkich mas termoutwardzalnych (SMT). Wykonują również formę skorupową do wykonania odlewu z otworem (do odwzorowania rdzeniem).

6.6.2. Wykonanie próbek z masy szybkowiążącej (SMT) metodą skorupową

We wszystkich masach termoutwardzalnych (SMT) zasadniczą właściwością jest wytrzymałość na zginanie. Badanie wytrzymałości na zginanie (Rg^{urg}), wykonuje się na kształtkach podłużnych w temperaturze utwardzania i po ostudzeniu do temperatury otoczenia. Wymiary kształtek przedstawiają się następująco:

- a) masy do formowania skorupowego;
22,36 x 7±0,2 x 172 mm
- b) masy w metodzie gorącej rdzennicy;
22,36 x 7,01 x 165
- c) masy do przedmuchania gorącym powietrzem;
22,36 x 22,36 x 172 (kształtka standardowa).

Temperatura nagrzania form do wykonania kształtek (próbek) zależna jest od rodzaju żywicy stosowanej w masie.

Składniki masy do wykonania próbek i formy skorupowej:

- piasek powleczony żywicą fenolowo – formaldehydową typu nowolakowego,
- środek adhezyjny (oddzielacz).

Kształtki (próbki) w ilości 5 sztuk wykonać w specjalnej czterownękowej rdzennicy podgrzanej do temperatury: 200°C i 250°C, przetrzymując je odpowiednio w czasie 5 i 10 sekund. Wypełnienie rdzennicy piaskiem otoczkowanym, wykonać przez nadmuch sprężonym powietrzem przy użyciu specjalnej tulei strzałkowej. Przed badaniem wytrzymałości, rdzenie schłodzić do temperatury otoczenia.

6.6.3. Wykonanie formy skorupowej

Do wykonania formy (dwóch skorup) wykorzystać te same składniki, co w wykonaniu próbek do badań na zginanie (pkt. 4.4.2). Proces formowania skorupowego przeprowadzić według następujących punktów:

- nagrzanie płyty modelowej do temperatury $220 \div 280^{\circ}\text{C}$,
- nasypianie równomiernej warstwy piasku (otaczanego),
- utrzymanie warstwy piasku w czasie kilkunastu sekund, do powstania skorupy o grubości $5 \div 10\text{ mm}$,
- usunięcie nie związanego piasku z płyty modelowej, poprzez odwrócenie jej o 180° ,
- zdjęcie skorupy z płyty modelowej,
- ostateczne utwardzenie skorupy w piecu w temperaturze $300 \div 350^{\circ}\text{C}$ w czasie $1 \div 4$ minut (zależnie od grubości),
- przygotowanie formy do zalania poprzez wstawienie rdzenia oraz spięcie klamrami dwóch skorup.

6.6.4. Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Krótki opis masy i procesu wykonania próbek i formy skorupowej.
2. Krótki opis metody badań i użytej aparatury.
3. Wyniki badań wytrzymałości mas w ujęciu tabelarycznym i analizą (wg wzoru 1.4).
4. Wnioski końcowe z interpretacją wyników badań i zaobserwowanych zjawisk przy wykonywaniu mas, próbek i formowania skorupowego.

6.7. Literatura

1. Sakwa W., Wachelko T.: *Materiały na formy i rdzenie odlewnicze*. Wydawnictwo „Śląsk”. Katowice 1981.
2. Perzyk M. i inni: *Odlewnictwo*. PWN. Warszawa 2000, 2004.
3. Rączka J.: *Technologia odlewnictwa*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1988.
4. Lewandowski L.: *Masy formierskie i rdzeniowe*. PWN. Warszawa 1991.
5. Jopkiewicz A.: *Odlewnictwo – laboratorium*. Skrypt Politechniki Łódzkiej. Łódź 2001.

7. Technologia formy odlewniczej piaskowej

7.1. Wprowadzenie

Zadaniem formy piaskowej jest dokładne odwzorowanie kształtu odlewanych przedmiotów, zapewnienie wymaganej jakości powierzchni oraz ścisłej i wolnej od wad budowy wewnętrznej odlewu. Formy piaskowe mogą być wykonywane jako jednolite lub dzielone, wykonywane w gruncie, w skrzynkach formierskich lub metodą bezskrzynkową.

W zależności od rodzaju zalewanego tworzywa odlewniczego (żeliwo, staliwo, stopy metali nieżelaznych, kompozyty), wielkości i masy odlewów, mogą być stosowane formy wilgotne, podsuszane, suszone oraz utwardzane chemicznie. Odlewy drobne i średniej wielkości (do 800 kg) odlewa się w formach wilgotnych, a zaś odlewy duże i ciężkie w formach suszonych lub utwardzanych chemicznie. Wilgotne i suche formy wykonuje się z piaskowo – gliniastych (na bazie lepiszcz) mas formierskich, a utwardzane chemicznie z mas ze specjalnymi dodatkami wiążącymi (np. masy samoutwardzalne).

Wytwarzanie form z mas do formowania „na wilgotno” odbywa się w zasadzie z zastosowaniem tradycyjnych sposobów formowania, spośród których należy wymienić:

- 1) formowanie w dwóch lub trzech skrzynkach,
- 2) formowanie w gruncie,
- 3) formowanie z obieraniem,
- 4) formowanie na fałszywce,
- 5) formowanie z modelu z częściami odejmowanymi,
- 6) formowanie w rdzeniach,
- 7) formowanie za pomocą wzorników.

Wybór odpowiedniej metody formowania, uzależniony jest od rodzaju tworzywa odlewniczego, kształtu i wymiarów (konstrukcji) odlewu oraz wielkości serii produkcji.

Większość czynności w procesie formowania jest prawie jednakowa dla wszystkich sposobów formowania, do których zalicza się:

- a) zagęszczanie masy formierskiej, zapewniając dokładne odwzorowanie kształtu modelu (negatywu odlewu),
- b) wykonanie w formie kanałów, w celu odprowadzenia gazów powstających podczas jej wypełniania ciekłym tworzywem odlewniczym,
- c) wyjęcie z formy modelu odlewu oraz modeli należących do układu wlewowego,

- d) wykonanie i ustawienie w formie niezbędnych rdzeni do odwzorowania otworów,
- e) złożenie i przygotowanie formy odlewniczej do zalania ciekłym tworzywem odlewniczym.

Dla zachowania jakości odlewów, forma powinna wykazywać odpowiednie właściwości, a mianowicie: dostateczną wytrzymałość oraz dobrą podatność na działanie skurczu w procesie krzepnięcia i stygnięcia tworzywa odlewniczego. Ponadto forma powinna zapewnić równomierne stygnięcie odlewu w różnych jego przekrojach (równomierne odprowadzanie ciepła).

7.2. Rysunek piaskowej formy odlewniczej

Rysunek konstrukcyjny formy wykonuje się dla form przy odlewaniu kokilowym. Natomiast rysunek formy piaskowej nie jest rysunkiem konstrukcyjnym, lecz schematem technologicznym przedstawiającym sposób wykonania formy piaskowej, czyli jest to zwięzła instrukcja technologiczna wyrażona za pomocą rysunku (rys. 7.1).

Rysunek formy odlewniczej jest częścią składową dokumentacji technologicznej produkcji odlewów. Rysunek ten sporządza się na podstawie:

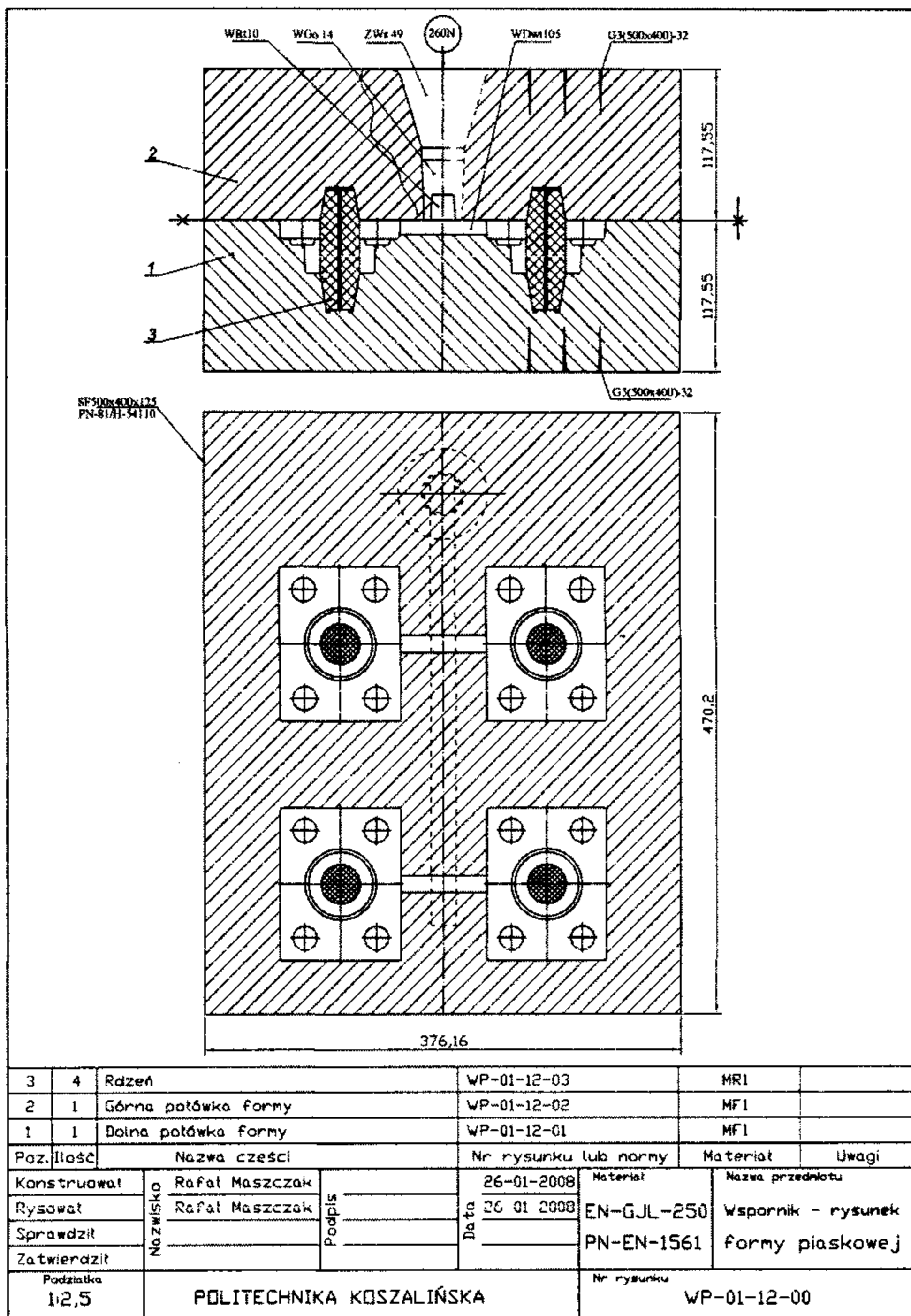
- a) rysunku surowego odlewu pełnego oraz szkicu rozmieszczenia odlewu w formie, a w przypadkach koniecznych, dodatkowo na podstawie szkicu koncepcji technologicznej,
- b) na podstawie dokumentacji uproszczonej, np.: na podstawie rysunku koncepcji technologicznej oraz szkicu rozmieszczenia odlewów w formie.

Rysunek formy odlewniczej jest rysunkiem złożeniowym i powinien określać konstrukcję całej formy, sposób montażu formy, położenie rdzeni w formie, umiejscowienie elementów układu wlewowego i nadlewów, ochładzalników, sposobów odpowietrzania wnętrza formy – umiejscowienie kanałów odpowietrzających.

Wyróżnia się 3 kategorie rysunku formy odlewniczej:

Kategoria I – wykonywany dla potrzeb produkcji masowej, w którym ujmuje się:

- złożenia formy przedstawione są w postaci widoków i przekrojów lokalnych dla pełnego zobrazowania i zwymiarowania formy,
- rysunki montażowe rdzeni,
- elementy układów wlewowych, przelewy, nadlewy,
- wzmocnienia formy i rdzeni,
- ochładzalniki oraz inne specjalne elementy formy.



Rys. 7.1. Rysunek formy odlewniczej piaskowej

Kategoria II – wykonywany dla potrzeb produkcji średnioseryjnej, mało skomplikowanych odlewów i małoseryjnej odlewów skomplikowanych.

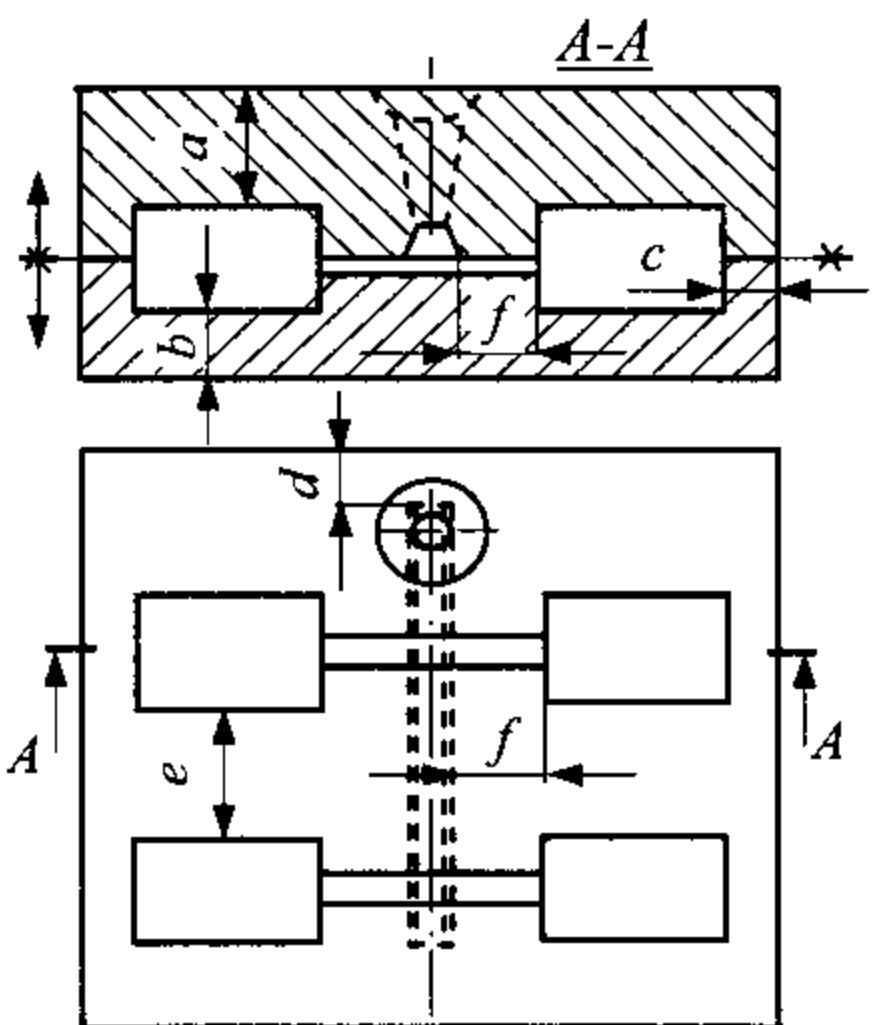
Rysunek ten zawiera mniej szczegółów niż rysunek kategorii I (przeważnie bez rysunków montażowych rdzeni oraz przyrządów).

Kategoria III – wykonywany dla potrzeb produkcji jednostkowej lub małoseryjnej nie skomplikowanych odlewów w postaci uproszczonego szkicu, uwzględniającego najważniejsze elementy formy.

Wymiary gabarytowe formy uzależnione są od odległości pomiędzy modelami a elementami formy w zależności od masy odlewu. Na podstawie tablicy 7.1. oraz obliczonej masy odlewu można określić przybliżone wymiary skrzynek formierskich.

Tablica 7.1. Zalecane minimalne odległości pomiędzy modelami a elementami formy

Masa odlewu, kg	Wymiar, mm					
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>



Pomiędzy górną powierzchnią modelu a górną powierzchnią formy	Pomiędzy dolną powierzchnią formy	Pomiędzy modelem a ścianką skrzynki	Pomiędzy wlewem głównym a ścianką skrzynki	Pomiędzy modelami	Pomiędzy modelem a wlewem rozprządzającym
---	-----------------------------------	-------------------------------------	--	-------------------	---

do 5	40	40	30	30	30	30
5 ÷ 10	50	50	40	40	40	30
10 ÷ 25	60	60	40	50	50	30
25 ÷ 50	70	70	50	50	60	40
50 ÷ 100	90	90	50	60	70	50
100 ÷ 250	100	100	60	70	100	60
250 ÷ 500	120	120	70	80	-	70
500 ÷ 1000	150	150	90	90	-	120
1000 ÷ 2000	200	200	100	100	-	150
2000 ÷ 3000	250	250	125	125	-	200

7.3. Formowanie w dwóch skrzynkach

Proces technologiczny mający na celu przygotowanie form piaskowych odlewniczych nazywa się formowaniem. Zależnie od wielkości i sposobu formowania rozróżnia się skrzynki do formowania ręcznego oraz do formowania maszynowego. Stosownie do kształtu, wielkości oraz dokładności, odlewy można wykonywać w jednej, dwóch lub trzech skrzynkach.

Przebieg poszczególnych czynności do wykonania odlewu w dwóch skrzynkach przedstawia tablica 7.2.

Do wykonania odlewu w formie piaskowej należy mieć:

1. Skrzynki formierskie (mogą być ze stopów żelaza, stopów lekkich).
2. Model odlewu (dzielony, niedzielony) lub zespół modelowy.
3. Płyta podmodelowa.
4. Modele do odwzorowania układu wlewowego (rys.7.2):
 - zbiornik wlewowy (ZW),
 - wlew główny (WG),
 - wlew rozprowadzający (WR),
 - wlew(y) doprowadzające (WD),
 - przelew(y) (PL),
 - nadlew(y), zasilacz(e).
5. Filtr wlewowy (służący do zatrzymania zanieczyszczeń) niemetalicznych.
6. Ochładzalniki (zewewnętrzne, wewnętrzne).
7. Rdzeń(ie) do odwzorowania otworów w odlewie. Rdzenie należy wykonać w rdzennicy z masy rdzeniowej.
8. Masa formierska (zależnie od sposobu formowania): przymodelowa, wypełniająca, jednolita.
9. Puder formierski, piasek podziałowy.
10. Narzędzia formierskie, np.: listwa zgarniająca, ubijak, gładzik, jaszczurka, lancet, nakłuwak, sito, itp.

Dla zachowania jakości odlewów, forma powinna wykazywać odpowiednie właściwości, a mianowicie: dostateczną wytrzymałość oraz dobrą podatność na działanie skurczu w procesie krzepnięcia i stygnięcia tworzywa odlewniczego.

Jednym z istotnych elementów budowy formy jest układ wlewowy, w którego skład wchodzi zespół kanałów, wnęk i innych elementów formy połączonych w odpowiedniej kolejności. Zadaniem układu wlewowego jest:

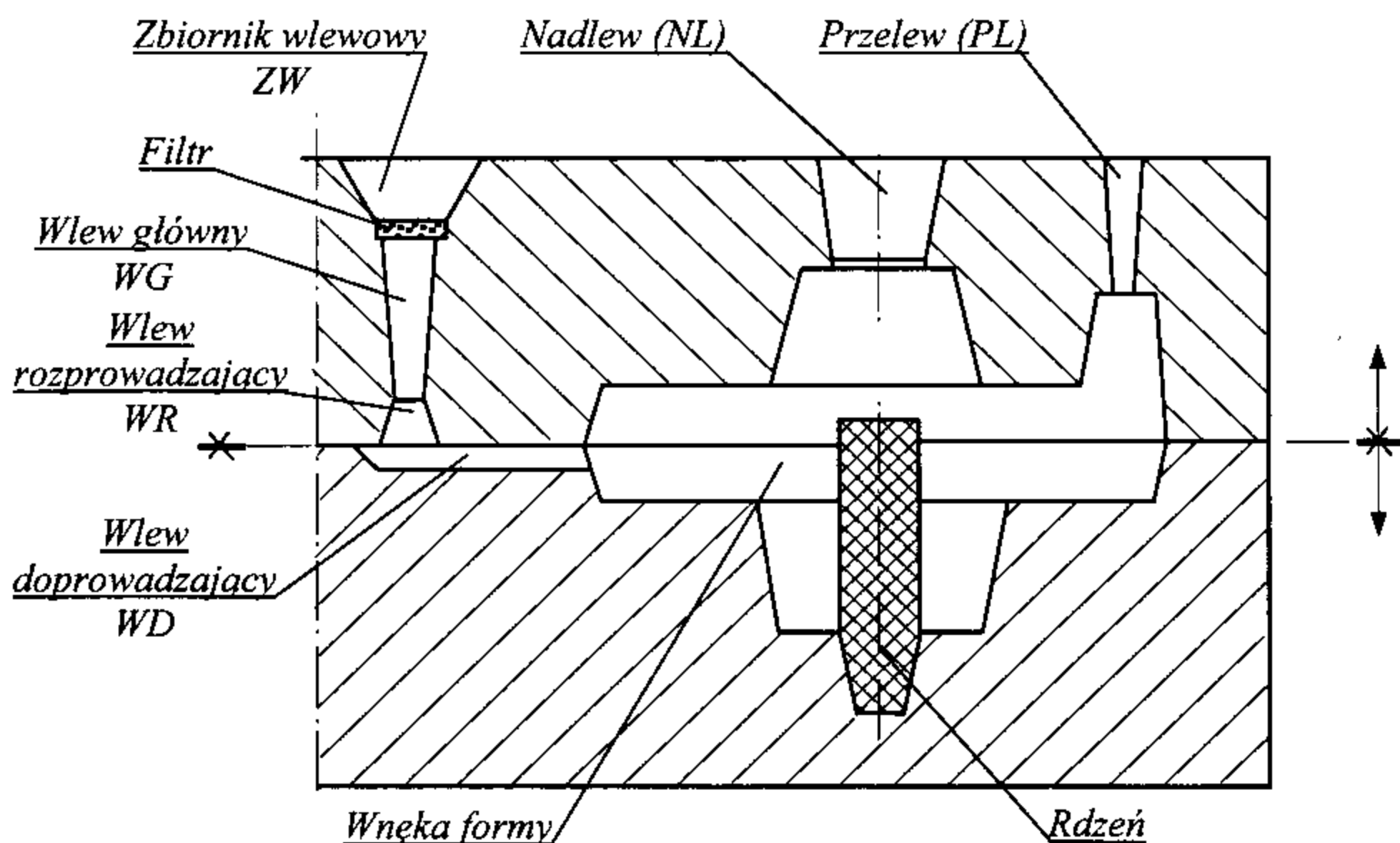
- ciągłe i równomierne doprowadzenie ciekłego tworzywa do wnętrza formy oraz prawidłowe jej wypełnienie,

- zatrzymanie ewentualnych zanieczyszczeń, m.in. wtrąceń niemetalicznych,
- zasilanie odlewu ciekłym tworzywem podczas krzepnięcia,
- współdziałanie podczas krzepnięcia i stygnięcia z innymi czynnikami powodującymi kierunkowe lub jednoczesne krzepnięcie.

Rodzaj i kształt układu wlewowego zależy od wielu czynników, a głównie od kształtu i położenia odlewu w formie, właściwości odlewanych tworzyw odlewniczych (np. morfologia krzepnięcia) oraz liczby odlewów wykonywanych w jednej formie.

Najpowszechniej stosowany jest układ wlewowy zamknięty boczny z wlewem doprowadzającym w płaszczyźnie podziału formy (rys. 7.2). Przez pojęcie układu zamkniętego należy rozumieć taki układ wlewowy, w którym przekroje kanałów stopniowo zmniejszają się w kierunku odlewu, czyli $F_{WG} > F_{WR} > \Sigma F_{WD}$. Proporcje przekrojów elementów układu wlewowego zależą w szczególności od rodzaju tworzywa odlewniczego, a ich wartości zaleca się przyjmować według poniższych danych:

- dla żeliwa szarego - 1,4 : 1,2 : 1,
- staliwa - 1,3 : 1,2 : 1,
- stopów miedzi - 4 : 2 : 1 (lub 4 : 4 : 1),
- stopów aluminium - 4 : 2 : 1 (lub 6 : 3 : 1).



Rys. 7.2. Schemat układu wlewowego i jego elementy

W układzie otwartym przekrój elementów układu wlewowego położony bliżej wnęki formy jest większy od przekroju elementów pozostałych, tzn.: $F_{WG} < F_{WR} < \Sigma F_{WD}$.

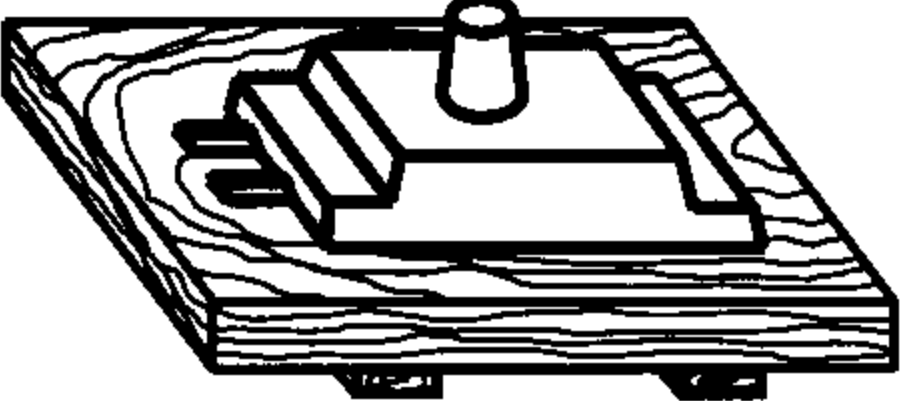
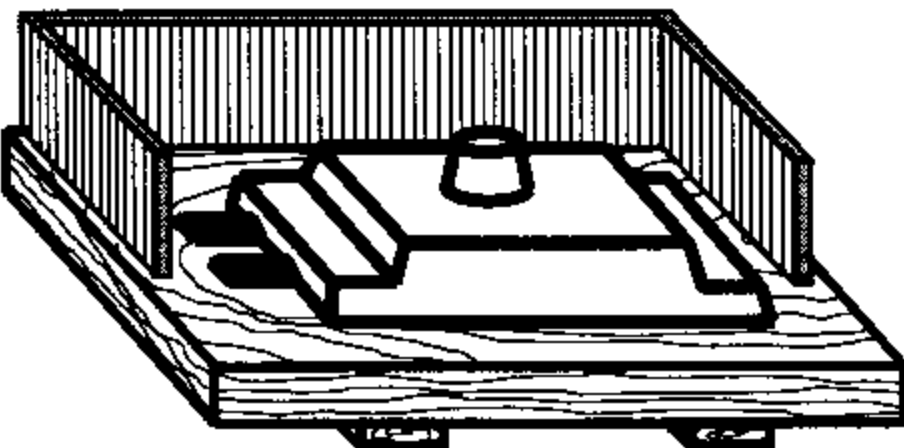
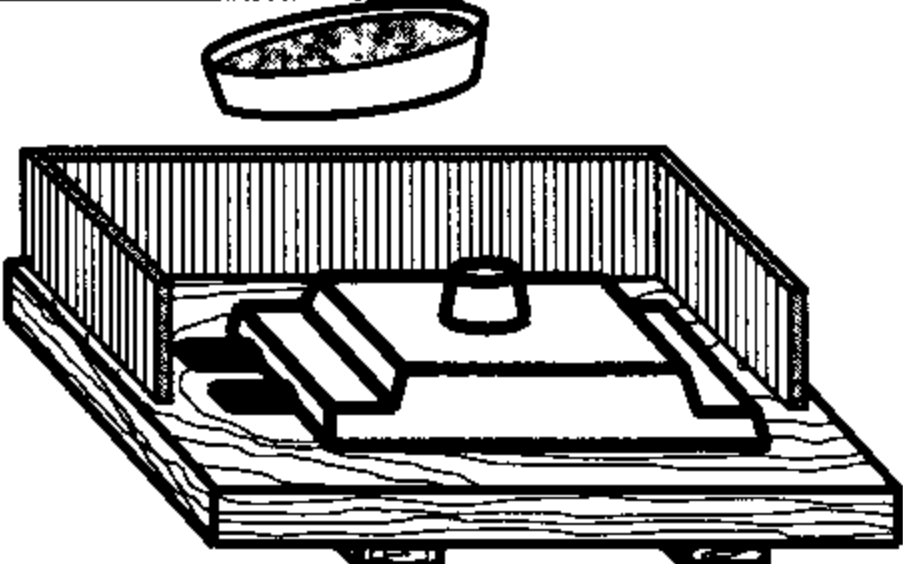
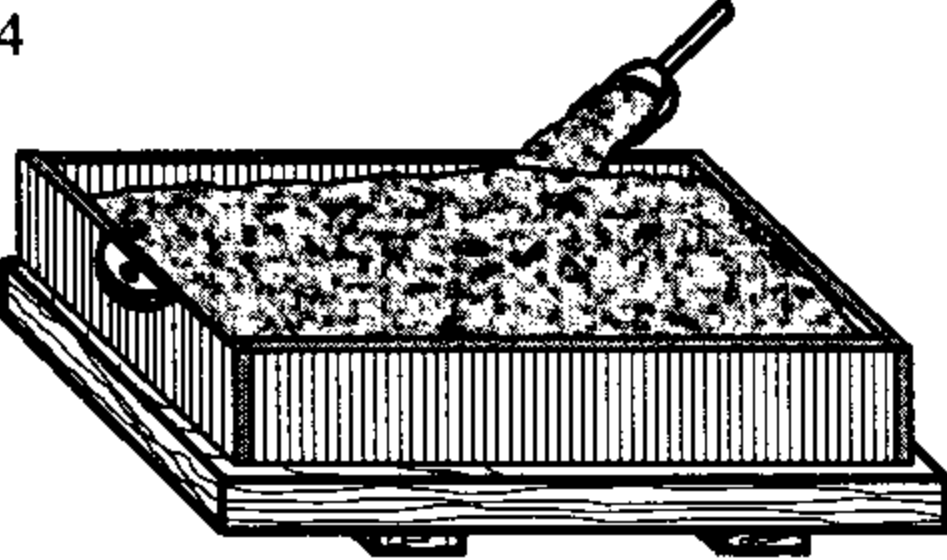
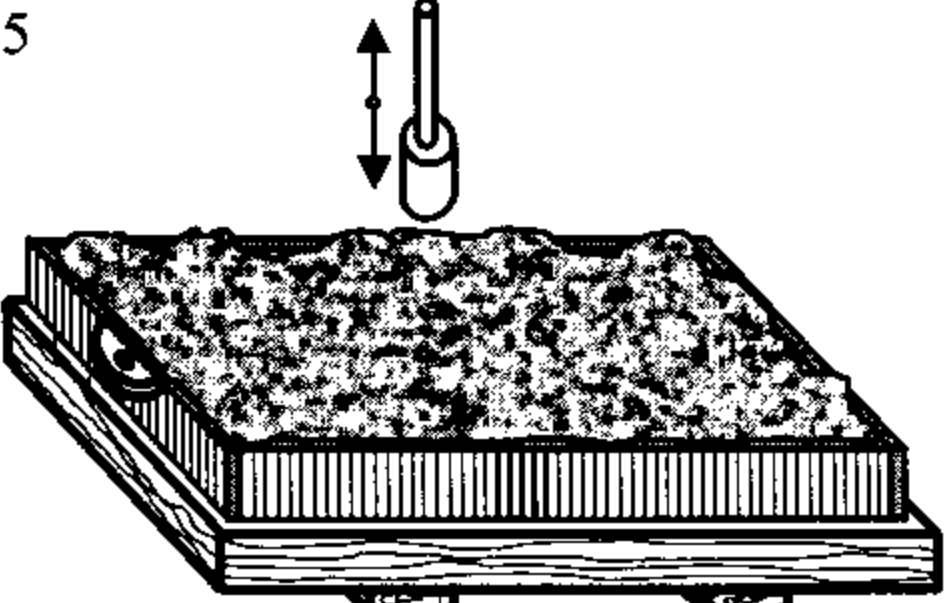
Przeznaczenie elementów składowych układu wlewowego przedstawia tablica 7.2:

Tablica 7.2. Przeznaczenie elementów układu wlewowego

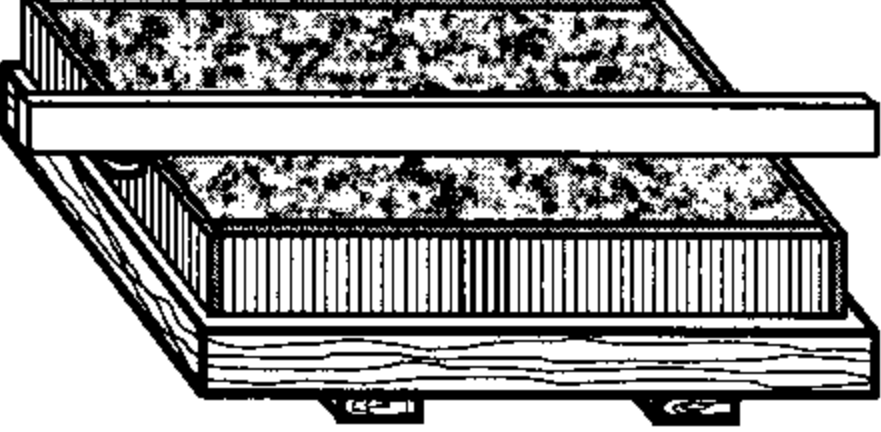
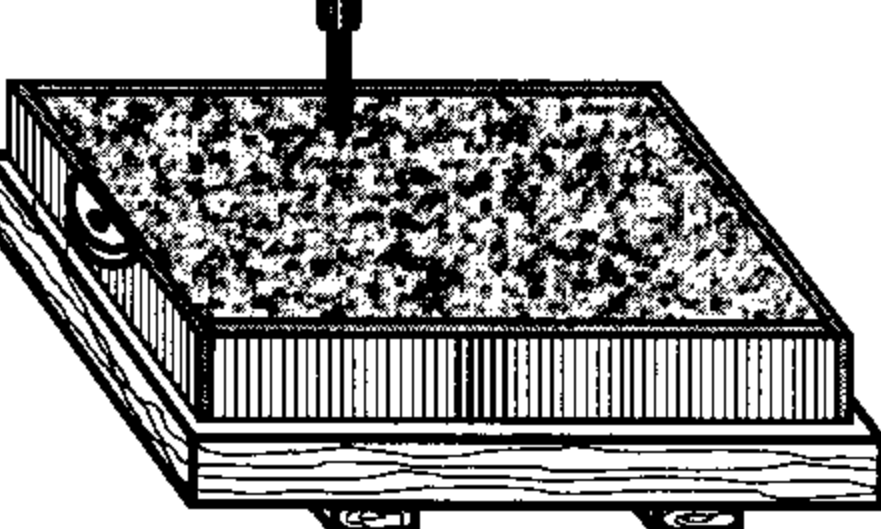
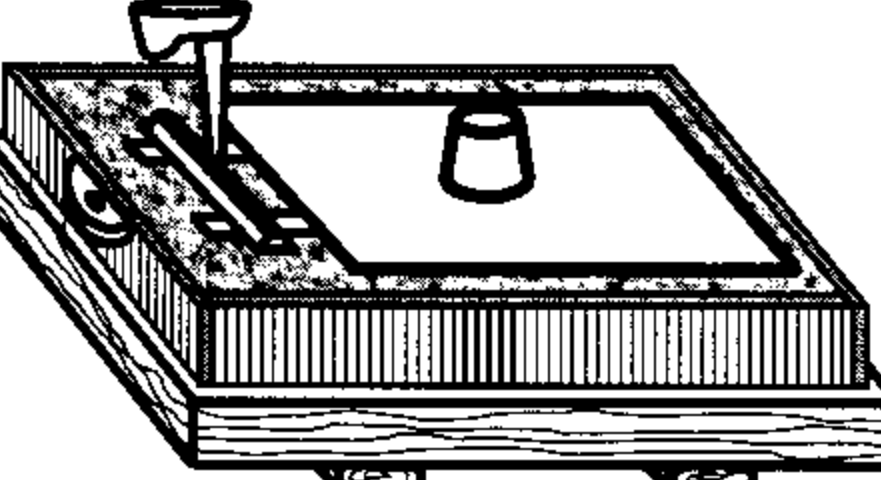
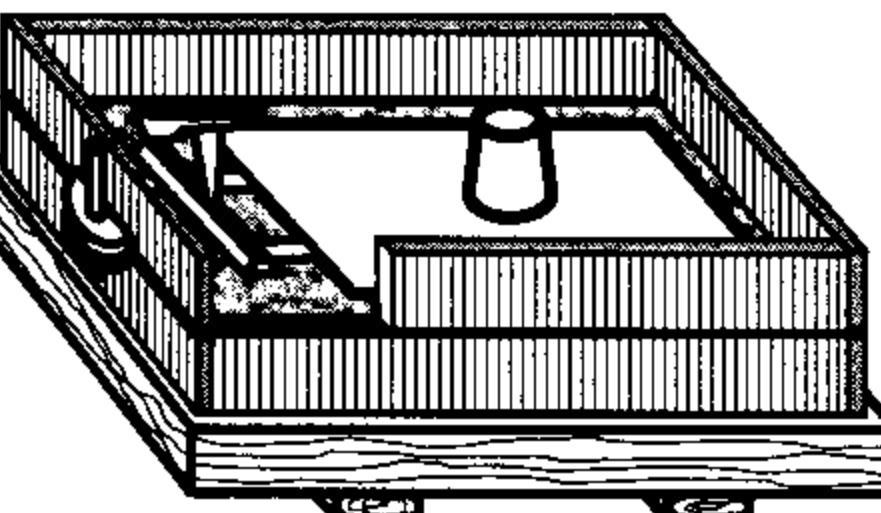
Lp.	Nazwa	Określenie, wyjaśnienie
1.	Zbiornik wlewowy	Ma za zadanie ułatwienie wprowadzenia ciekłego tworzywa do formy, zabezpieczenie ciągłości zalewania oraz wstępne zatrzymanie zanieczyszczeń.
2.	Wlew główny	Jest to kanał pionowy w kształcie ściętego stożka o zbieżności 3 : 5°, łączy zbiornik wlewowy z wlewem rozprowadzającym (belka wlewowa).
3.	Wlew rozprowadzający (belka wlewowa, belka odciążająca)	Jest kanałem poziomym o przekroju trapezowym, umiejscowionym w górnej skrzynce formy w płaszczyźnie podziałowej. Jego głównym zadaniem jest zmniejszenie szybkości strugi ciekłego tworzywa odlewniczego oraz zatrzymanie zanieczyszczeń.
4.	Odciążacz	Część układu wlewowego przeznaczona do zatrzymania zanieczyszczeń niemetalicznych.
5.	Filtr wlewowy (filtr siatkowy)	Część układu wlewowego przeznaczona do mechanicznego zatrzymania zanieczyszczeń niemetalicznych.
6.	Wlew(y) doprowadzający	Kanał doprowadzający metal bezpośrednio do wnęki formy.
7.	Zasilacz zakryty (nadlew boczny zakryty)	Część układu wlewowego, który zasila odlew (lub jego część) ciekłym tworzywem w okresie jego krzepnięcia.
8.	Przelew	Jest kanałem pionowym w kształcie stożka ściętego, umiejscowiony w górnej skrzynce formy i usytuowany po przeciwnej stroni wlewów doprowadzających w najwyższym punkcie odlewu. Służy do szybkiego odprowadzania powietrza oraz powstałych gazów z wnęki formy w czasie zalewania. Ukazanie się lustra ciekłego tworzywa sygnalizuje o wypełnieniu formy.
9.	Nadlew	Spełnia to samo zadanie co przelew, osłabia uderzenie metalu w górną część formy, zasila odlew ciekłym tworzywem w okresie krzepnięcia oraz wyprowadza z odlewu zanieczyszczenia niemetaliczne (żużle).

Ilustrację czynności do wykonania odlewu w formie piaskowej przedstawia tablica 7.3.

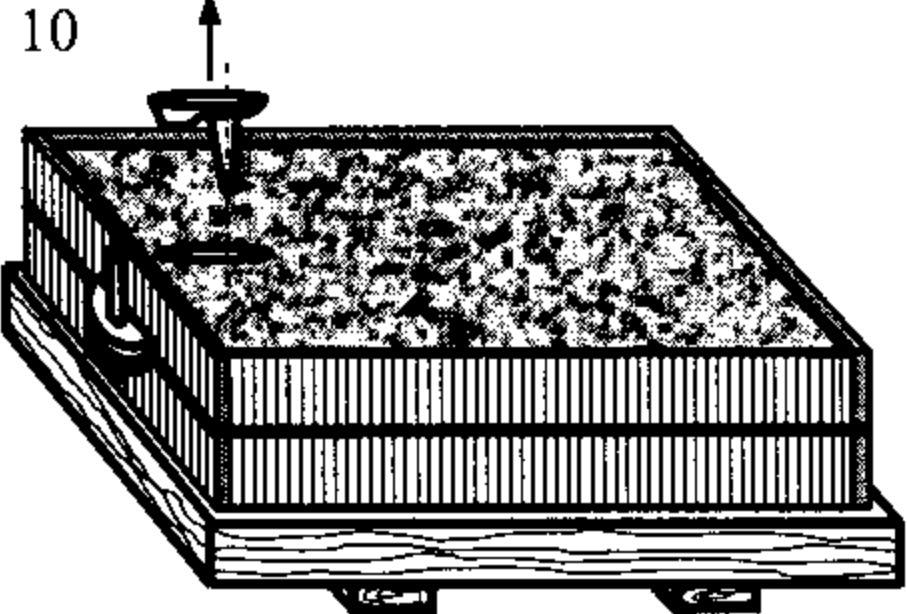
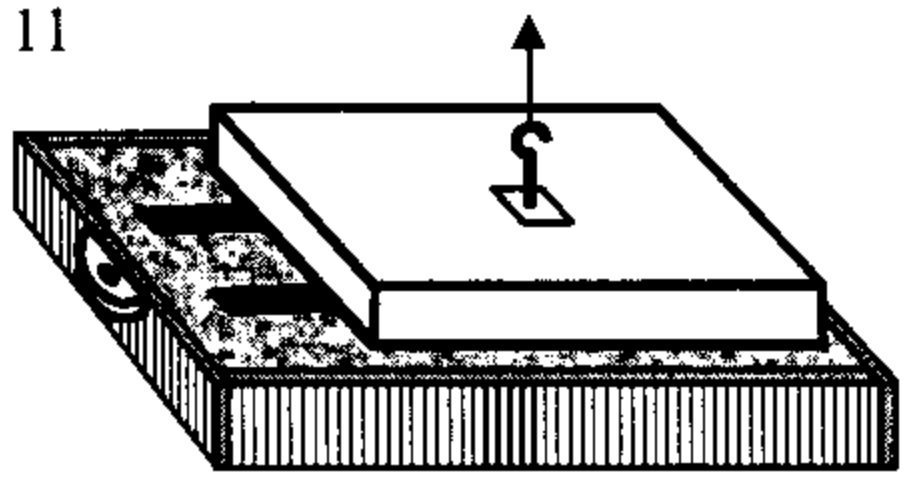
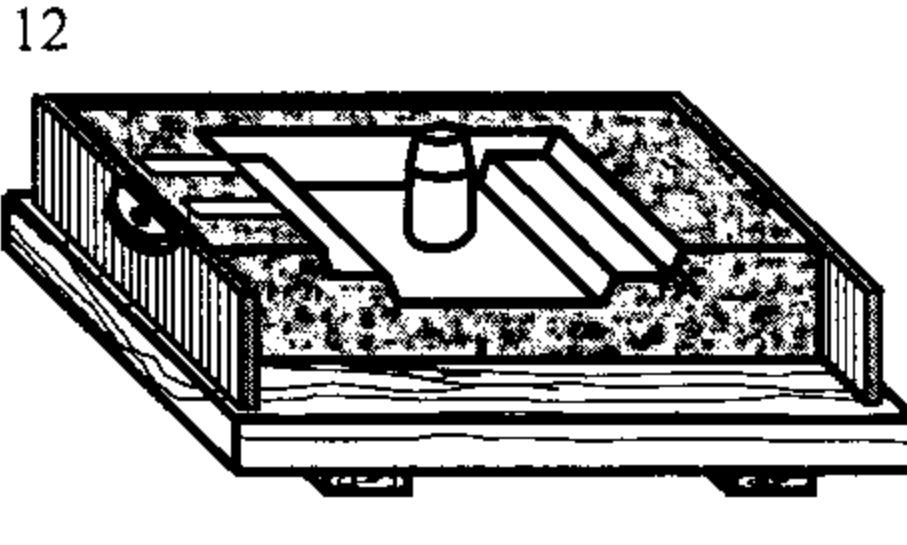
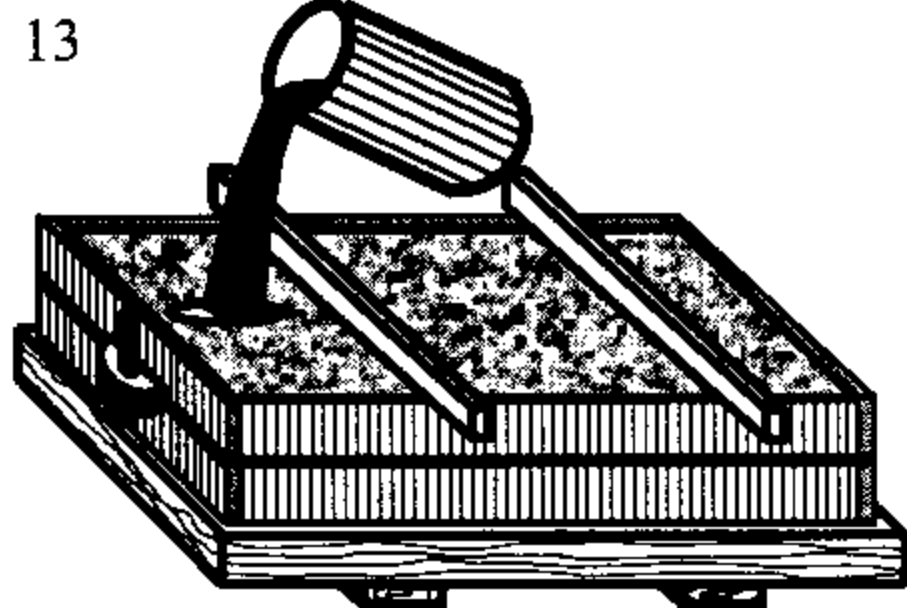
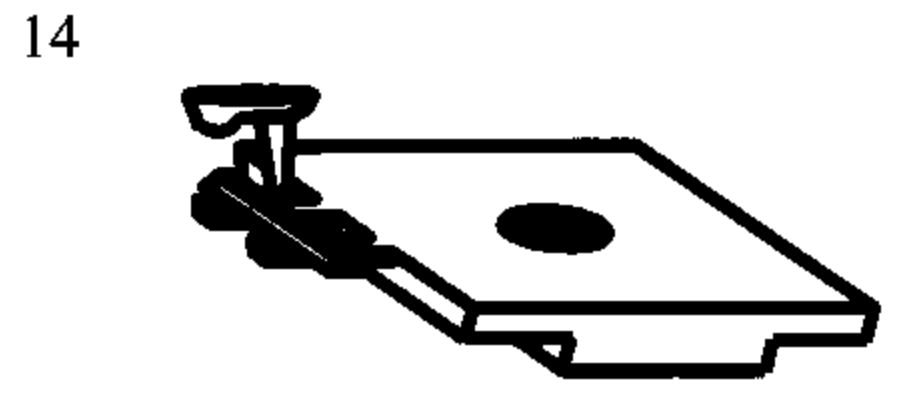
Tablica 7.3. Przykładowy przebieg procesu wykonania odlewu w formie piaskowej

1 	Ustawić płytę podmodelową. Na płycie umieścić model z elementami modeli wlewów doprowadzających (WD).
2 	Nałożyć dolną skrzynkę formy. Model opylić pudrem formierskim za pomocą woreczka.
3 	Obsypać model $30 \div 50$ mm warstwą masy przymodelowej i ręcznie obcisnąć ją wokół modelu.
4 	Wypełnić skrzynkę formy masą wypełniającą.
5 	Zagęścić masy formierskie w skrzynce za pomocą ubijaka ręcznego, ze stopniowym uzupełnianiem masy wypełniającej.

cd. Tablica 7.3.

6 	Po zagęszczeniu, nadmiar masy formierskiej zgarnąć listwą zgarniającą.
7 	Nakłuwakiem wykonać kanały odpowietrzające na głębokość ok. 15 mm od powierzchni modelu.
8 	Obrócić dolną skrzynkę formy o 180° na płycie podmodelowej. W razie potrzeby gładzikiem wyrównać powierzchnię odwróconą. Ustawić na modelach wlewów doprowadzających model wlewu rozpraszającego (WR) i model wlewu głównego (WG) oraz ewentualnie w najwyższym punkcie modele przelewów (PL).
9 	Ustawić górną skrzynkę formy za pomocą sworzni prowadzących. Obsypać model i powierzchnie podziału pudrem formierskim.

cd. Tablica 7.3.

10 	Wypełnić skrzynkę formy masą przymodelową i wypełniającą i dalej wykonać czynności jak w pkt. 3,4,5,6,7. Odwzorować zbiornik wlewowy. Wyjąć model zbiornika wlewowego i wlewu głównego.
11 	Zdjąć górną skrzynkę formy i obrócić o 180° i ustawić na płycie podmodelowej obok dolnej skrzynki. Ostrożnie usunąć (wyjąć) model odlewu oraz pozostałe modele układu wlewowego.
12 	W gnieździe rdzennika wstawić rdzeń. Założyć górną skrzynkę za pomocą sworzni prowadzących.
13 	Złożyć formę poprzez ustawienie górnej skrzynki na dolnej. Ułożyć na formie obciążniki i zalać formę tworzywem odlewniczym.
14 	Wybicie odlewu wraz z układem wlewowym z formy. Odciać wlewy doprowadzające. Poddać odlew obróbce cieplnej jeżeli zachodzi taka konieczność.

Niektóre formy po ich wykonaniu poddaje się suszeniu lub podsuszaniu. Ma to na celu zwiększenie ich wytrzymałości i przepuszczalności gazów. Jednocześnie zmniejsza się możliwość powstawania w odlewie pęcherzy spowodowanych parą wodną. Suszeniu poddaje się na ogół tylko niektóre większe i bardziej skomplikowane formy do odlewania żeliwa i stopów miedzi oraz prawie wszystkie formy do wytwarzania odlewów staliwnych. Formy suszy się najczęściej w suszarkach komorowych w temperaturze $300 \div 450^{\circ}\text{C}$ (w zależności od gatunku składników masy formierskiej). W pewnych przypadkach całkowite suszenie może być zastąpione przez tzw. podsuszanie. Formy podsuszane powinny być niezwłocznie zalane tworzywem odlewniczym, gdyż podsuszona cienka warstwa masy formierskiej po pewnym czasie ulega nasiąkaniu wilgocią z głębszych warstw formy.

7.4. Część praktyczna ćwiczenia

7.4.1. Cel i zakres ćwiczenia

Ćwiczenie ma na celu zapoznanie studentów z wyposażeniem stanowiska do formowania ręcznego w dwóch skrzynkach oraz operacjami technologicznymi wykonania odlewu w formie piaskowej. Przed przystąpieniem do ćwiczenia studenci zapoznają się z rysunkiem formy piaskowej oraz elementami składowymi piaskowej formy odlewniczej.

7.4.2. Wykonanie odlewu w formie piaskowej

Wyposażenie stanowiska:

- komplet skrzynek formierskich,
- płyta podmodelowa (podskrzynkowa),
- modele odlewów i układu wlewowego,
- rdzeń,
- ubijak, zgarniacz, gładzik, nakłuwak do wykonania otworów odpowietrzających,
- szczotka do czyszczenia stanowiska,
- masa formierska z gliną bentonitową wg ćwiczenia nr 1,
- puder formierski,
- piec oporowy tyglowy,
- łyżka odlewnicza,
- wsad do pieca (składniki niskotopliwe).

Na podstawie rysunku formy odlewniczej, przydzielonego modelu studenci wykonują ręcznie formę piaskową według załączonej instrukcji technologicznej. Po wykonaniu formowania w dwóch skrzynkach, formę należy zalać tworzywem odlewniczym. Ostatecznym punktem ćwiczenia jest wybicie odlewu z formy i ocena jakości odlewu.

7.4.3. Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Krótki opis wykonania formy piaskowej.
2. Rysunek modelu odlewu.
3. Szkic rozmieszczenia odlewu w formie oraz obliczenia wymiarów skrzynki formierskiej.
4. Obserwacje własne, uwagi, wnioski.

7.5. Literatura

1. Perzyk M. i inni: *Odlewnictwo*. PWN. Warszawa 2000, 2004.
2. Tabor A., Rączka J.: *Odlewnictwo*. Wyd. „Fabit”. Kraków 1996.
3. Rączka J. i inni: *Technologia odlewnictwa – projektowanie nowoczesnych metod wykonywania odlewów*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1994.
4. Rączka J.: *Technologia odlewnictwa*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1988.
5. Rączka J.: *Technologia odlewnictwa – projektowanie*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1988.
6. Murza-Mucha P.: *Techniki wytwarzania – odlewnictwo*. WNT. Warszawa 1978.

8. Specjalne metody odlewania. Wykonanie odlewu kokilowego

Wprowadzenie

Do specjalnych metod odlewania zalicza się między innymi następujące metody wykonania odlewów: odlewanie kokilowe, odlewanie w formach skorupowych, odlewanie metodą traconych modeli oraz metodą Shawa.

Specjalne metody wytwarzania odlewów różnią się od metod odlewania w formach piaskowych nie tylko samą budową i materiałem formy, lecz również cechami konstrukcyjnymi odlewów, przebiegiem procesu tworzenia odlewu (krzepnięcia) w formie oraz właściwościami wykonanego odlewu (np.: strukturą metalograficzną, tolerancją odlewu, chropowatością powierzchni odlewu, klasą odlewu).

Odlewanie kokilowe jest procesem wytwarzania odlewów w formach trwałych (formach wielokrotnego użycia), tzw. kokilach, które najczęściej wykonane są z żeliwa lub staliwa.

Wnęka kokili odtwarza zewnętrzne kształty odlewu, natomiast wewnętrzne kształty odtwarzane są przez rdzenie metalowe (trwałe) lub rdzenie piaskowe jednorazowego użytku (rdzenie wykonane metodą: gorąca rdzennica, masy szybkowiążące-proces CO_2 , metodą skorupową lub inne).

Odlewanie kokilowe można stosować zasadniczo do wszystkich tworzyw odlewniczych, ale najpowszechniej stosowane jest do stopów metali nieżelaznych, a przede wszystkim do stopów aluminium oraz miedzi, cynku i magnezu. Odlewanie żeliwa, a w szczególności staliwa, napotyka szereg trudności wynikających z wysokiej temperatury zalewania oraz większego ryzyka pęknięć odlewów wskutek hamowania skurczu przez sztywną kokilę.

O zastosowaniu odlewania kokilowego decydują następujące czynniki:

- rodzaj tworzywa odlewniczego (właściwości tworzywa),
- kształt (konstrukcja) odlewu,
- masa odlewu,
- wielkość serii.

Do metod wytwarzania odlewów w kokilach zalicza się następujące metody odlewania:

- grawitacyjne,
- niskociśnieniowe,
- pod ciśnieniem,
- odśrodkowe (oś wirowania pozioma, pionowa),
- odlewanie ciągłe i półciągłe.

W porównaniu do odlewania klasycznego w formach piaskowych, odlewanie kokilowe charakteryzuje się licznymi zaletami:

- poprawienie właściwości wytrzymałościowych odlewów (drobnoziarnistość struktury),
- duża dokładność i stałość wymiarowa odlewów,
- wyższa gładkość i czystość powierzchni odlewów,
- zmniejszenie naddatków na obróbkę,
- zwiększona wydajność i stabilizacja procesu,
- ograniczenie zatrudnienia produkcyjnego,
- wyeliminowanie mas formierskich, przez co następuje poprawa warunków bhp i ochrony środowiska,
- duża trwałość kokili, wielokrotność użycia bez uszczerbku na jakości odlewów.

Do wad odlewania kokilowego można zaliczyć:

- znaczne naprężenia cieplne odlewu na skutek hamowania skurczu w niepodatnej kokili,
- większa niejednorodność właściwości w różnych przekrojach ścianek odlewu,
- ograniczona możliwość konstrukcyjna odlewu.
- konieczność stosowania piaskowych wkładek odtwarzających (rdzeni zewnętrznych) przy żebrach, pogrubieniach lub występach na powierzchni zewnętrznej odlewu.

Projektowanie i wykonanie kokili wymaga uwzględnienia szeregu warunków, a między innymi:

- czy kokila zostanie wykonana całkowicie z metalu (stopu), czy też z rdzeniami piaskowymi,
- konstrukcja odlewu, a w tym grubości ścianek,
- określenie położenie odlewu w formie, biorąc pod uwagę kierunkowość krzepnięcia,
- podział kokili (powierzchnia podziału formy),
- sposób otwierania i zamykania kokili,
- sposób doprowadzenia (układ wlewowy) tworzywa odlewniczego,
- sposób chłodzenia (chłodzenie naturalne, przez obieg wymuszony powietrza lub cieczy),
- sposób odgazowania wnętrza kokili,
- grubość ścianek kokili i jej zewnętrzne wymiary gabarytowe,
- sposób zabezpieczenia przed poparzeniem.

Szybkość odprowadzania ciepła przegrzanego (temperatura zalewania) stopu i krzepnącego odlewu w kokili jest $3 \div 5$ razy większa niż w formach piaskowych. Intensywność krzepnięcia poszczególnych części konstrukcji odlewu reguluje się poprzez temperaturę podgrzania kokili (tablica 8.1)

oraz grubość nanoszonej warstwy ochronnej (warstwy izolacyjnej). Wybijanie odlewów z kokili następuje przy temperaturze $0,6 \div 0,8$ temperatury solidusu tworzywa odlewniczego.

Tablica 8.1. Zalecane temperatury kokili oraz temperatury zalewania dla wybranych tworzyw odlewniczych (stopów)

Rodzaj tworzywa odlewniczego (stopu)		Grubość ścianki odlewu, mm	Zalecana temperatura kokili, °C	Zalecana temperatura zalewania, °C
Żeliwo szare		do 10	300 ÷ 450	1340 ÷ 1400
		10 ÷ 20	250 ÷ 300	1300 ÷ 1360
		powyżej 20	150 ÷ 250	1250 ÷ 1300
Staliwo węglowe		do 10	250 ÷ 350	1440 ÷ 1465
		powyżej 10	100 ÷ 200	1430 ÷ 1450
Stopy aluminium		do 5	450 ÷ 500	680 ÷ 800
		5 ÷ 8	250 ÷ 350	
		powyżej 8	150 ÷ 250	
Stopy miedzi	mosiądze	-	80 ÷ 200	950 ÷ 1100
	brązy	-	120 ÷ 200	1000 ÷ 1200
Stopy cynku		-	150 ÷ 250	450 ÷ 550
Stopy magnezu		do 5	320 ÷ 380	710 ÷ 800
		powyżej 5	250 ÷ 350	

W procesie wykonania odlewu kokilowego tworzą się inne zjawiska wynikające z wymiany ciepła między ciekłym tworzywem odlewniczym a formą:

- zjawiska dylatacyjne formy (zmiany wymiarów wnętrza formy oraz jej wymiarów zewnętrznych),
- skurcz odlewu w stanie ciekłym, krzepnięcia i w stanie stałym),
- hamowanie odprowadzania ciepła przez pokrycia ochronne wnętrza kokili,
- tworzenie się tlenków w reakcji między metalem, pokryciem ochronnym i kokilą.

O długości cyklu odlewania decyduje czas stygnięcia kokili, co zależy od grubości ścianek odlewu. W tym czasie wykonywane są inne ważne zabiegi technologiczne, a między innymi: otwarcie kokili, rozbrajanie części kokili i rdzeni, wyjmowanie (wybijanie) odlewu, czyszczenie wnętrza, ustawianie rdzenia lub rdzeni, naniesienie pokryć ochronnych, zamknięcie kokili. Zabiegi te mogą trwać tak długo, aż temperatura kokili spadnie do temperatury następnego cyklu zalania.

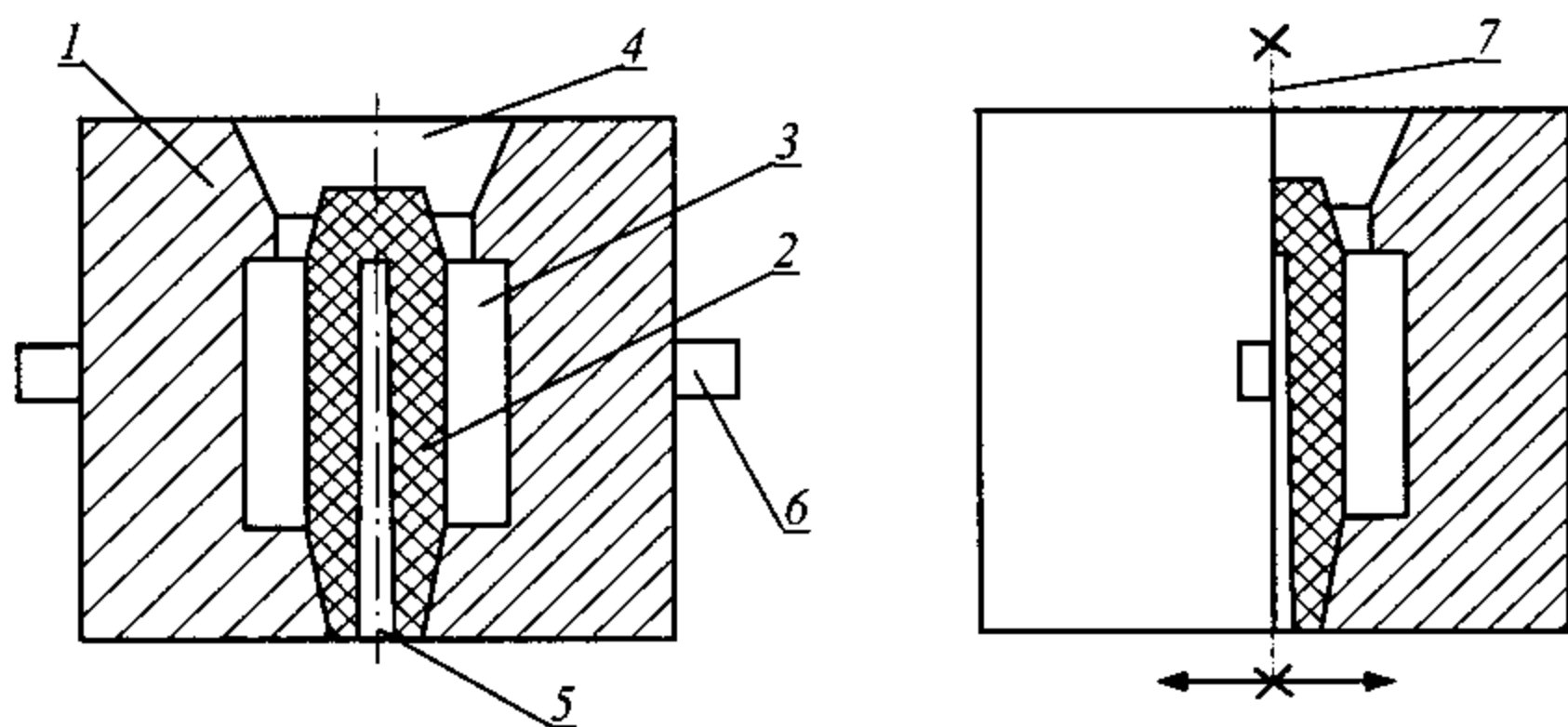
8.2. Odlewanie grawitacyjne

Odlewaniem kokilowym grawitacyjnym nazywamy proces wypełnienia formy pod działaniem sił ciężkości tworzywa odlewniczego i zasady naczyń połączonych (rys. 8.1).

Najważniejszymi parametrami technologicznymi odlewania kokilowego tworzyw odlewniczych są:

- temperatura kokili (po podgrzaniu),
- temperatura zalewania,
- czas trwania cyklu odlewania.
- temperatura odlewu w czasie wybijania (wyjmowania).

Powyższe parametry zależą przede wszystkim od właściwości odlewanej stopu, konstrukcji, kształtów i wymiarów odlewu oraz konstrukcji i materiału kokili. Są one ściśle powiązane z procesem wymiany ciepła pomiędzy ciekłym metalem, kokilą a otoczeniem.



Rys. 8.1. Schemat kokili w odlewaniu grawitacyjnym: 1 – kokila, 2 – rdzeń piaskowy, 3 – odlew, 4 – układ wlewowy, 5 – odpowietrzenie (kanał odprowadzający gazy wydzielające się z masy rdzeniowej przy zalewaniu), 6 – elementy mocujące ze sobą obie połówki kokili, 7 – powierzchnia podziału kokili

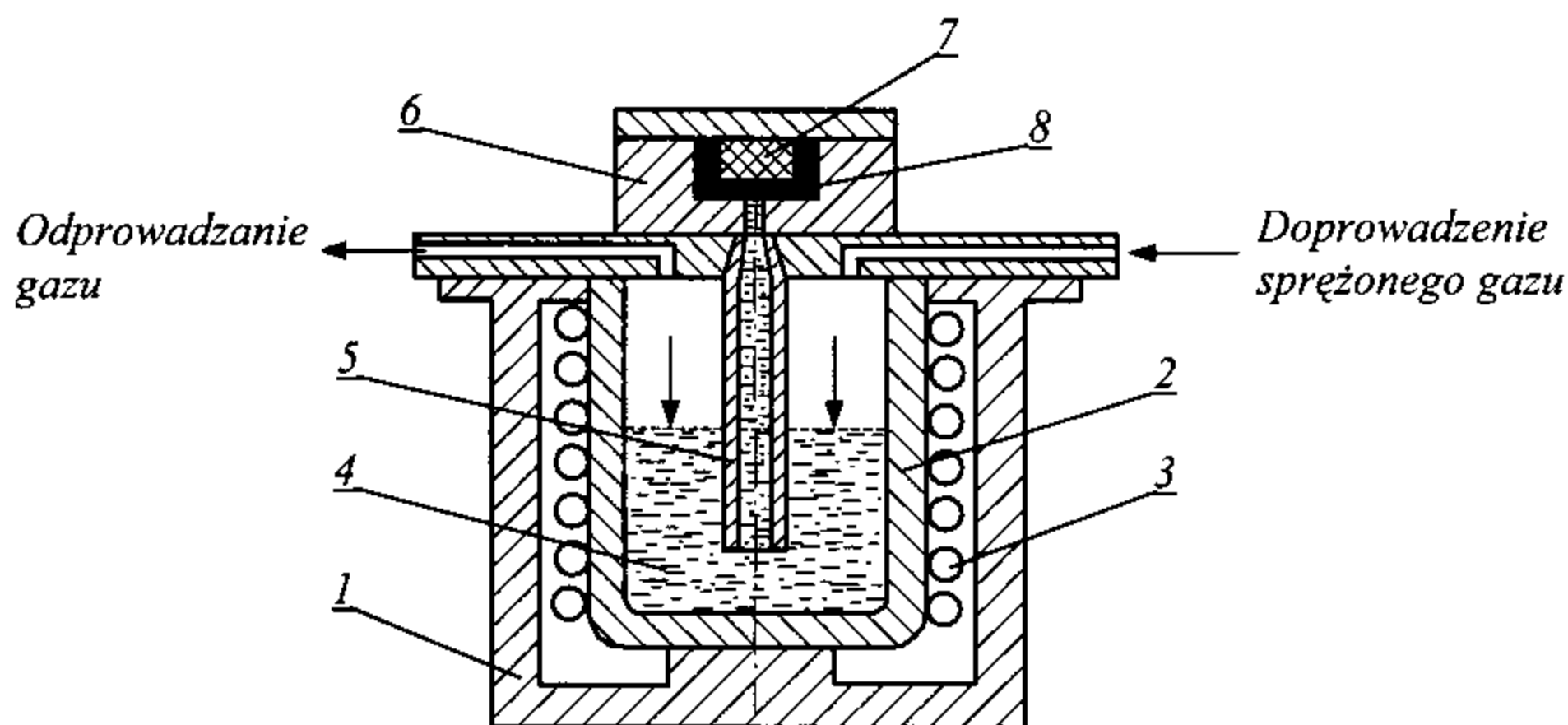
Wnęka formy pokrywana jest warstwą środka chroniącego przed przyklejeniem się odlewu do ścianek wnętrza formy. Pokrycia mają wpływ na współczynnik wymiany ciepła, co stanowi istotną funkcję technologiczną.

Proces wymiany ciepła rozpoczyna się od momentu wypełnienia wnętrza formy ciekłym metalem i odznacza się obniżeniem temperatury metalu oraz wzrostem temperatury kokili, aż do chwili wyjęcia odlewu z formy.

Brak przepuszczalności formy wymaga takiej konstrukcji, aby powietrze i gazy z wnętrza kokili uchodziły przez układ specjalnych rowków odpowietrzających o głębokości $0,2 \div 0,5$ mm, wykonanych w miejscu złożenia formy lub przez specjalne korki odpowietrzające czy też porowate wkładki ceramiczne. W odlewach prostych odpowietrzanie może być realizowane poprzez układ wlewowy i szczeliny w płaszczyźnie podziału formy.

8.3. Odlewanie pod niskim ciśnieniem (niskociśnieniowe)

Odlewanie pod niskim ciśnieniem polega na wywieraniu niewielkiego ciśnienia rzędu $0,01 \div 0,2$ MPa powietrzem lub azotem na powierzchnię ciekłego metalu znajdującego się w tyglu pieca (np.: grzewczego, indukcyjnego tyglowego lub kanałowego). Pod wpływem ciśnienia, wypełniana jest wnęka kokili umieszczonej nad piecem. Stąd też, zalewanie i krzepnięcie odlewów odbywa się pod działaniem ciśnienia umożliwiającego uzupełnienie metalu w trakcie skurczu objętościowego (jamy skurczowej) bezpośrednio z zanurzonej rury wlewowej w ciekłym tworzywie odlewniczym. Po skrzepnięciu odlewu w formie powietrze lub azot usuwa się z wnętrza pieca, a pozostały ciekły metal z rury wlewowej spływa do tygla (rys. 8.2).



Rys. 8.2. Schemat urządzenia do odlewania pod niskim ciśnieniem: 1 – piec grzewczy, 2 – tygiel, 3 – element grzewczy, 4 – ciekły metal, 5 – rura wlewowa, 6 – kokila, 7 – rdzeń, 8 - odlew

Metoda odlewania niskociśnieniowego jest w swej istocie, zbliżona bardziej do odlewania kokilowego grawitacyjnego niż odlewania ciśnieniowego, chociaż proces wypełnienia wnętrza formy odbywa się pod działaniem ciśnienia.

Odlewy posiadają podobną charakterystykę, wyrażającą się podobnymi właściwościami mechanicznymi, tzn. wytrzymałością na rozciąganie, granicą plastyczności, wydłużeniem i twardością.

Metoda ta znalazła zastosowanie w wytwarzaniu różnych skomplikowanych cienkościennych odlewów o grubości ścianki około 2 mm ze stopów Al i Mg. W porównaniu z odlewaniem grawitacyjnym, odlewanie niskociśnieniowe charakteryzuje się następującymi zaletami:

- umożliwia laminarny przepływ czystego metalu w układzie wlewowym i wnęce formy, co pozwala na dobre odwzorowanie szczegółów odlewu,
- możliwe jest stosowanie niższych temperatur podgrzania formy, co umożliwia uzyskanie lepszej, rozdrobnionej struktury odlewu,
- duża oszczędność cieczy metalowej dzięki wyeliminowaniu układów wlewowych oraz nadlewów,
- umożliwia wykonywanie cienkościennych odlewów o skomplikowanych kształtach,
- obniża koszty oczyszczania i wykańczania odlewów,
- umożliwia stosowanie wewnętrznych i zewnętrznych rdzeni piaskowych,
- dużą wydajnością, łatwością mechanizacji i automatyzacji.

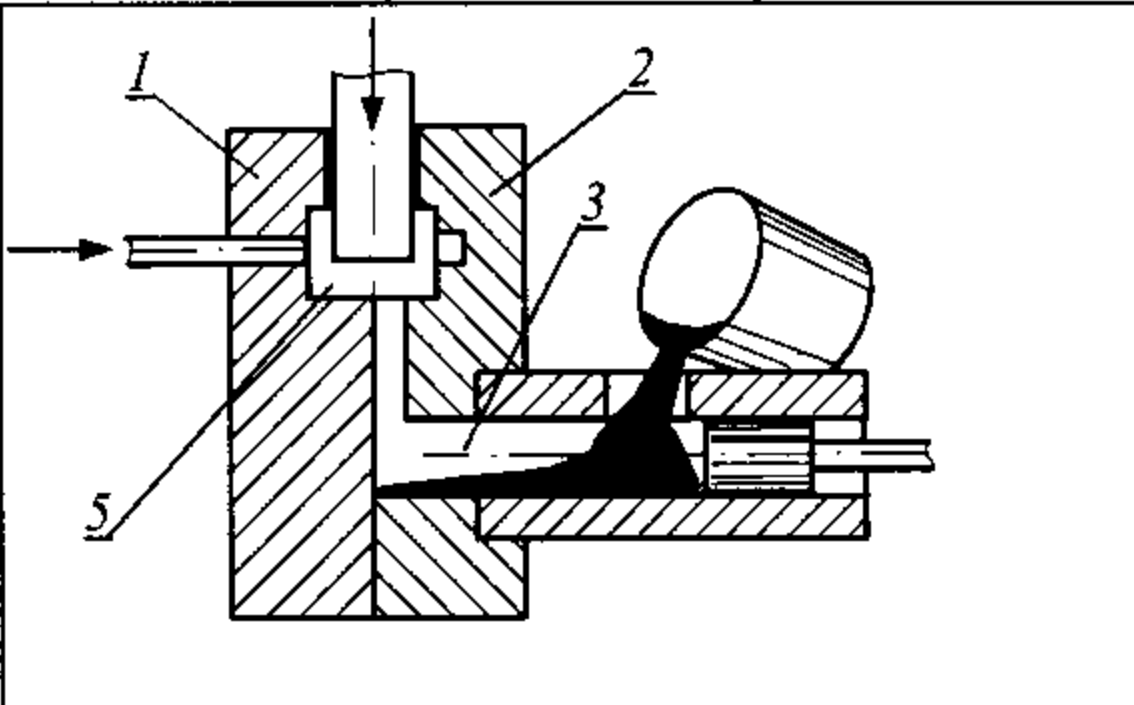
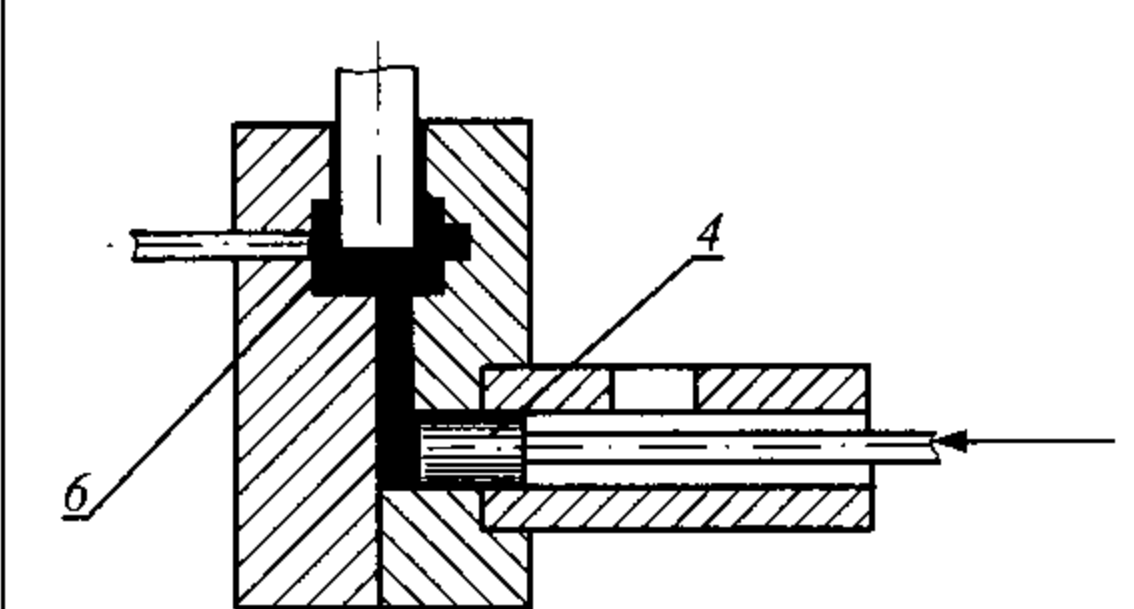
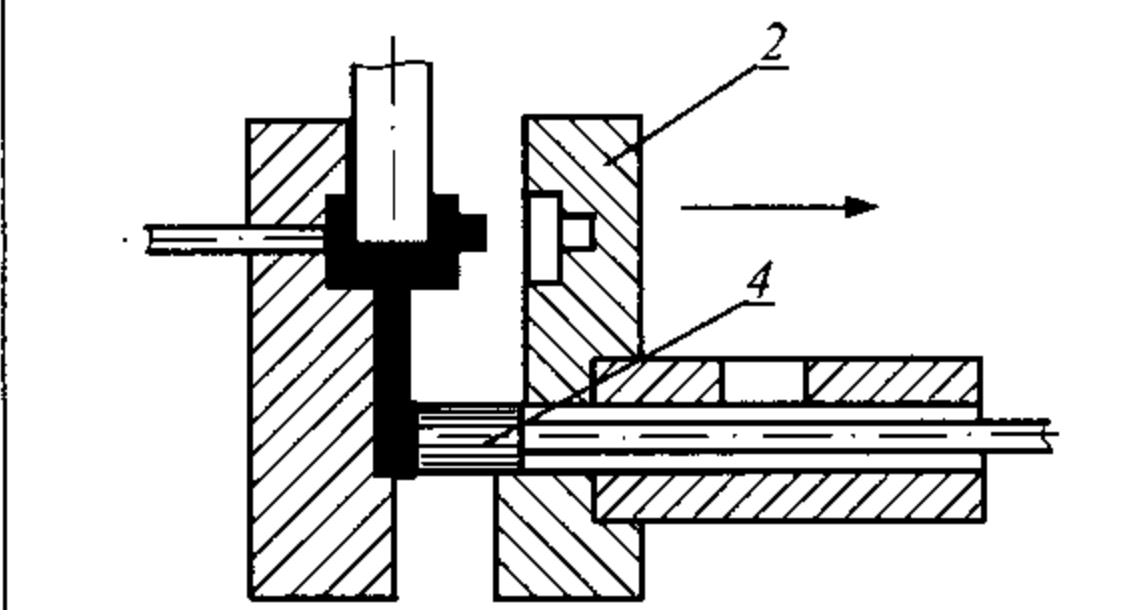
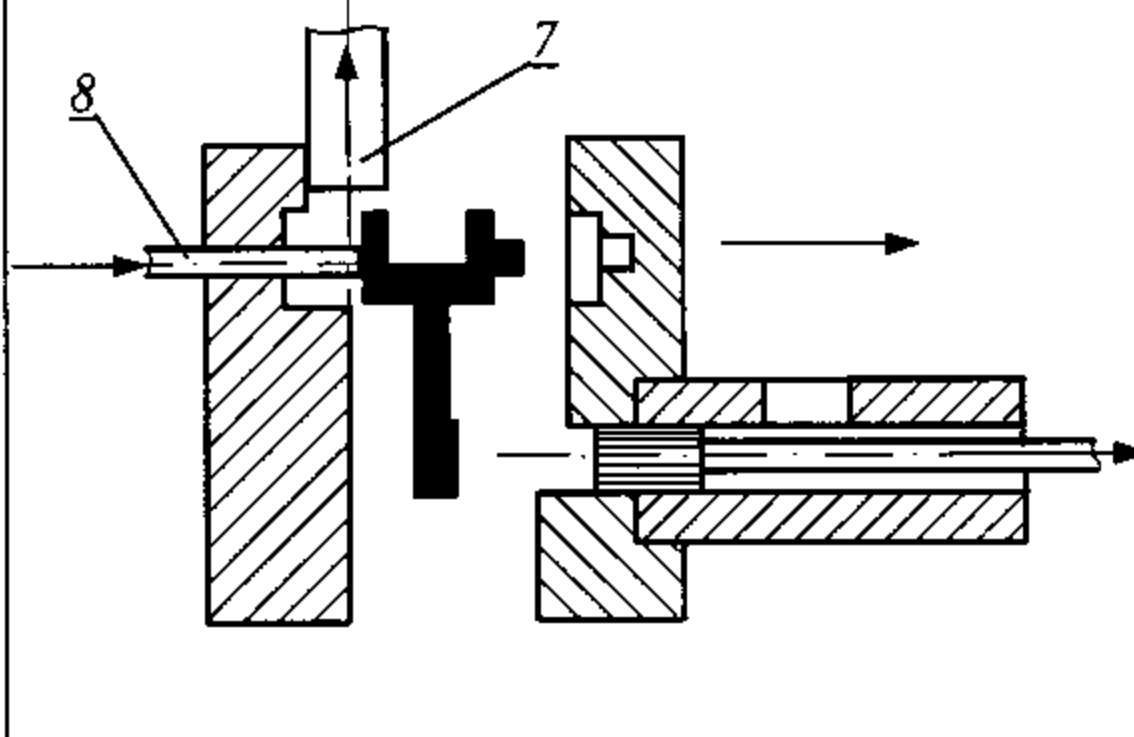
8.4. Odlewanie pod ciśnieniem (ciśnieniowe)

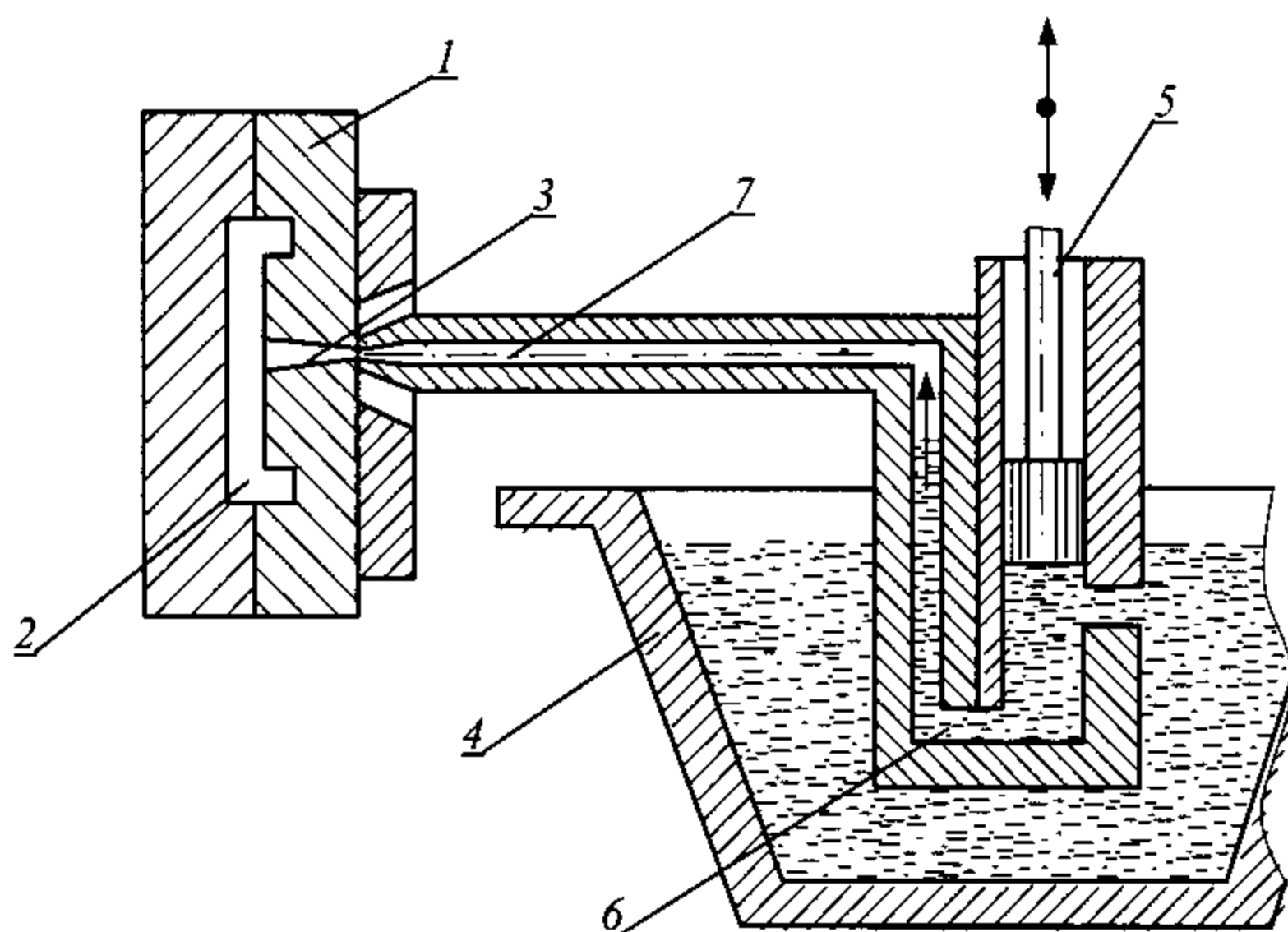
Odlewanie ciśnieniowe polega na szybkim wprowadzeniu ciekłego metalu do wnęki formy w wyniku wtłoczenia go pod ciśnieniem rzędu $2 \div 350$ MPa z dużą prędkością, która może wynosić $20 \div 80$ m/s. Forma ta jest zamontowana w specjalnym urządzeniu, tzw. maszynie ciśnieniowej, której zadaniem jest otwieranie, zamykanie i wtłoczenie ciekłego metalu do wnęki formy. Forma do odlewania ciśnieniowego jest dzielona pionowo i składa się z dwóch połówek zamocowanych w płytach maszyny (jedna stała, druga ruchoma).

Krzepnięcie odlewu następuje dość szybko, gdyż wysokie ciśnienie wtłoczenia umożliwia stosowanie niższych temperatur zalewania jak i mniejszej temperatury podgrzania formy, bez obaw niedokładnego wypełnienia wnęki formy.

W zależności od umiejscowienia komory prasowania rozróżnia się dwa podstawowe rodzaje maszyn ciśnieniowych (tablica 8.2, rys 8.3): zimnokomorowe ($60 \div 350$ MPa) do stopów Al., Mg, Cu oraz gorącomorowe ($2 \div 60$ MPa) dla stopów niskotopliwych.

Tablica 8.2. Przykładowy schemat przebiegu odlewania w zimnokomorowej poziomej maszynie ciśnieniowej

	Forma metalowa złożona z części nieruchomej 1 i ruchomej 2 gotowa do zalania (ręcznie lub automatycznie) i wprowadzenia tworzywa odlewniczego do zamkniętej komory ciśnienia 3.
	Tłok 4 wywierający ciśnienie na ciekłe tworzywo odlewnicze wprowadza go do wnętrza formy 5, co powoduje ukształtowanie się odlewu 6.
	Ruchoma część formy 2 odsuwa się i forma zostaje otwarta, tłok 4 cofa się do pierwotnego położenia.
	Wyjęcie rdzenia metalowego 7 i wypchnięcie odlewu z formy za pomocą wypychacza (wyrzutnika) 8.



Rys.8.3. Przykładowy schemat działania maszyny ciśnieniowej z gorącą komorą:
 1 – kokila (forma), 2 – wnęka formy odtwarzająca odlew, 3 – wlew, 4 – tygiel
 pieca grzewczego, 5 – tłok prasujący, 6 – komora ciśnienia, 7 – przewód
 wlewowy

Do głównych zalet odlewania ciśnieniowego można zaliczyć:

- dużą stabilizację i dokładność wymiarową odlewów, rzędu $\pm 0,01$ mm,
- bardzo małą chropowatość powierzchni, gładką i czystą powierzchnię,
- możliwość otrzymywania odlewów cienkościennych ($0,7 \div 1,0$ mm), w zależności od rodzaju tworzywa odlewniczego oraz kształtu odlewu,
- wyższe właściwości mechaniczne, fizyczne i chemiczne dzięki drobnoziarnistej strukturze,
- korzystny uzysk (do 95%) tworzywa odlewniczego, dzięki prostemu układowi wlewowemu i wyeliminowaniu nadlewów,
- ograniczenie naddatków na obróbkę oraz niektórych naddatków technologicznych.

Ważniejsze problemy technologiczne wytwarzania odlewów ciśnieniowych to:

- zamykanie w objętości odlewu fazy gazowej na wskutek turbulentnego wypełniania wnętrza formy przy jednoczesnym braku jej odpowietrzania,
- zmiany rozpuszczalności i wydzielanie fazy gazowej z ciekłego metalu w czasie zmiany stanu skupienia,
- ograniczone wymiary i masa odlewów (do 100 kg),

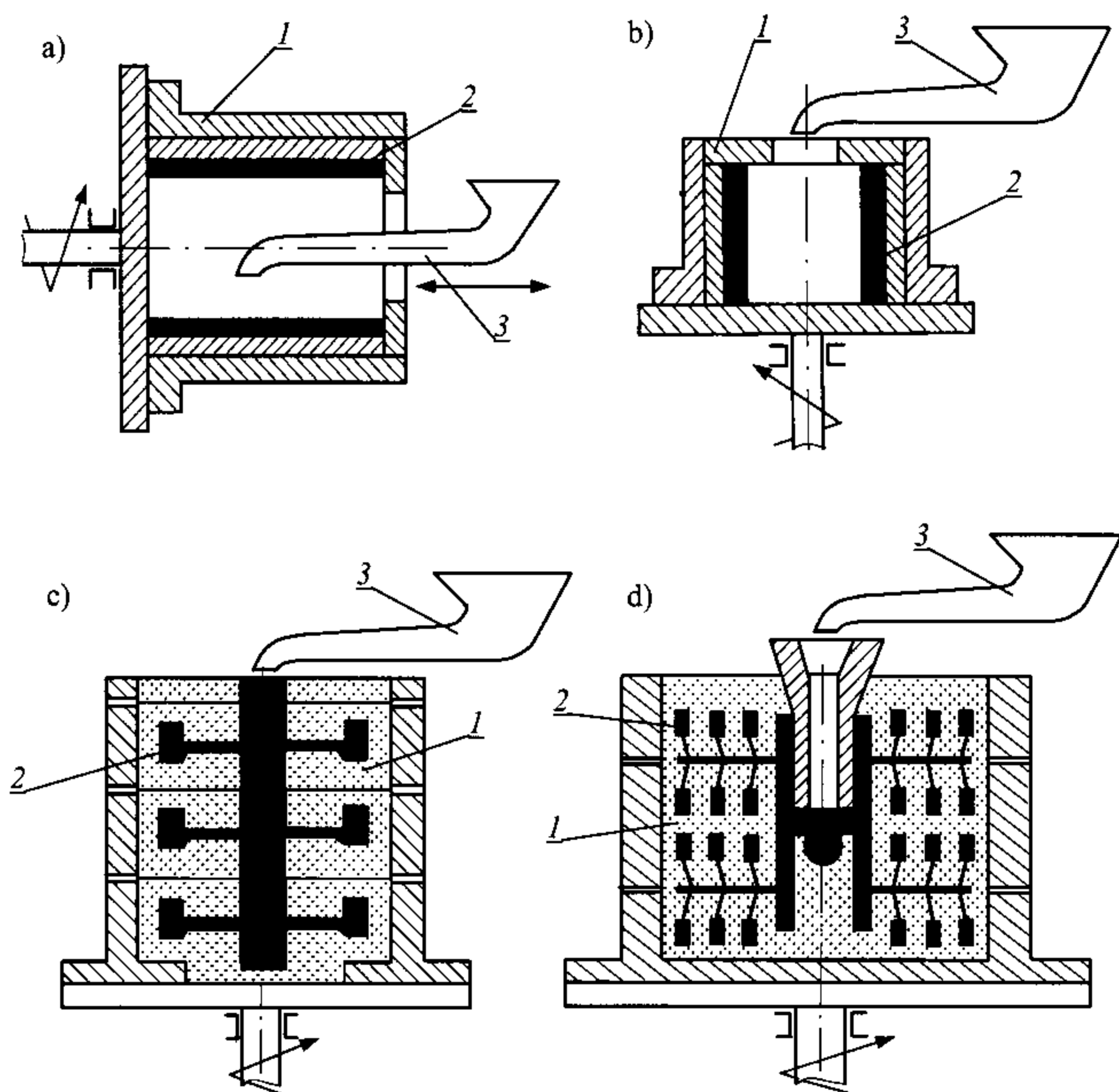
- trudności wykonania odlewów o zwiększonych przekrojach ścianek (powyżej 6 mm) na skutek występowania porowatości,
- ograniczenie rodzaju tworzywa odlewniczego o wysokiej temperaturze topnienia (np. żeliwo, staliwo).

8.5. Odlewanie odśrodkowe

Odlewanie w formach wirujących, nazywane popularnie odlewaniem odśrodkowym polega na wykorzystaniu siły odśrodkowej w procesie kształtowania odlewu poprzez wprowadzenie do wirującej formy ciekłego tworzywa odlewniczego. Siła odśrodkowa przewyższająca siłę ciężkości zalewanego tworzywa odlewniczego, odrzuca ciekły metal na ściany wirującej formy. Zostaje ona wykorzystana dla odwzorowania powierzchni odlewanego przedmiotu oraz zwiększenia ciśnienia w ciekłym i krzepnącym metalu.

Ze względu na położenie osi wirowania oraz sposób kształtowania powierzchni odlewu wyróżnia się:

- odlewanie odśrodkowe właściwe*, przy którym oś odlewu pokrywa się z osią wirowania (formy), a powierzchnia zewnętrzna odlewu jest odwzorowywana przez powierzchnię wirującej formy. Wewnętrzna zaś powierzchnia jest walcową powierzchnią, swobodnie ukształtowana przez siłę odśrodkową. Tego typu odlewanie może być z osią poziomą ($l/d > 3$) i pionową ($l/d < 1$) (rys. 8.4a,b).
- odlewanie półodśrodkowe*, charakteryzuje się tym, że oś odlewu pokrywa się z osią wirowania, ale powierzchnię wewnętrzną uzyskuje się w wyniku odwzorowania jej poprzez rdzeń (najczęściej piaskowy). Tego typu proces umożliwia uzyskanie dowolnych wewnętrznych kształtów odlewu (rys. 8.4c).
- odlewanie pod ciśnieniem odśrodkowym*, charakteryzuje się tym, że wlew główny jest umieszczony w pionowej osi wirowania, a ciśnienie pochodzące od siły odśrodkowej pozwala na wypełnienie ciekłym metalem wnęk formy, rozłożonych wokół wlewu głównego (rys. 8.4d). Odlewanie pod ciśnieniem odśrodkowym może być wykonywane w normalnych formach odlewniczych piaskowych, ceramicznych lub metalowych wirujących w czasie zalewania ciekłym tworzywem odlewniczym.



Rys. 8.4. Przykładowe schematy odlewania w formach wirujących: a) z osią poziomą, b) z osią pionową, c) półodśrodkowe, d) pod ciśnieniem odśrodkowym; 1 – forma, 2 – odlew, 3 – rynna zalewowa

Ze względu na usytuowanie w przestrzeni osi wirowania, wyróżnia się odlewanie przy wirowaniu wokół osi poziomej, pionowej lub osi ukośnej (pochyłej), nachylonej do poziomu pod kątem $1 \div 5^\circ$. Może być także wirowanie równoważne wokół dwóch lub więcej osi, np.: przy odlewaniu odśrodkowym kul. Pionową oś wirowania stosuje się w zasadzie wtedy, kiedy stosunek długości odlewu do jego szerokości jest mniejsza od jedności.

Do podstawowych parametrów technologii odlewania w formach wirujących należą:

- usytuowanie osi wirowania,
- prędkość wirowania formy w zależności od masy ciekłego metalu, rodzaju powłoki i temperatury formy,
- temperatura zalewania tworzywa odlewniczego,
- prędkość wypełniania formy,
- prędkość chłodzenia.

Liczba obrotów formy może się zmienić w pewnych granicach w zależności od rodzaju tworzywa odlewniczego, rodzaju formy, położenia osi (pozioma, pionowa, pochyła).

Odlewanie odśrodkowe ma wiele korzyści, wynikających z oddziaływania siły odśrodkowej na ciekły metal, a między innymi:

- wyeliminowanie lub wydatne ograniczenie układu wlewowego i nadlewów,
- polepszenie jakości odlewu przez otrzymanie drobnoziarnistej struktury, większej szczelności odlewu, dzięki wyeliminowaniu lub znacznemu ograniczeniu porowatości skurczowej i gazowej,
- wyeliminowanie lub ograniczenie stosowania rdzeni,
- możliwość wytwarzania odlewów warstwowych,
- dość duża dokładność wymiarowa odlewów – zmniejszenie naddatków na obróbkę (zależy od wymiarów odlewu).

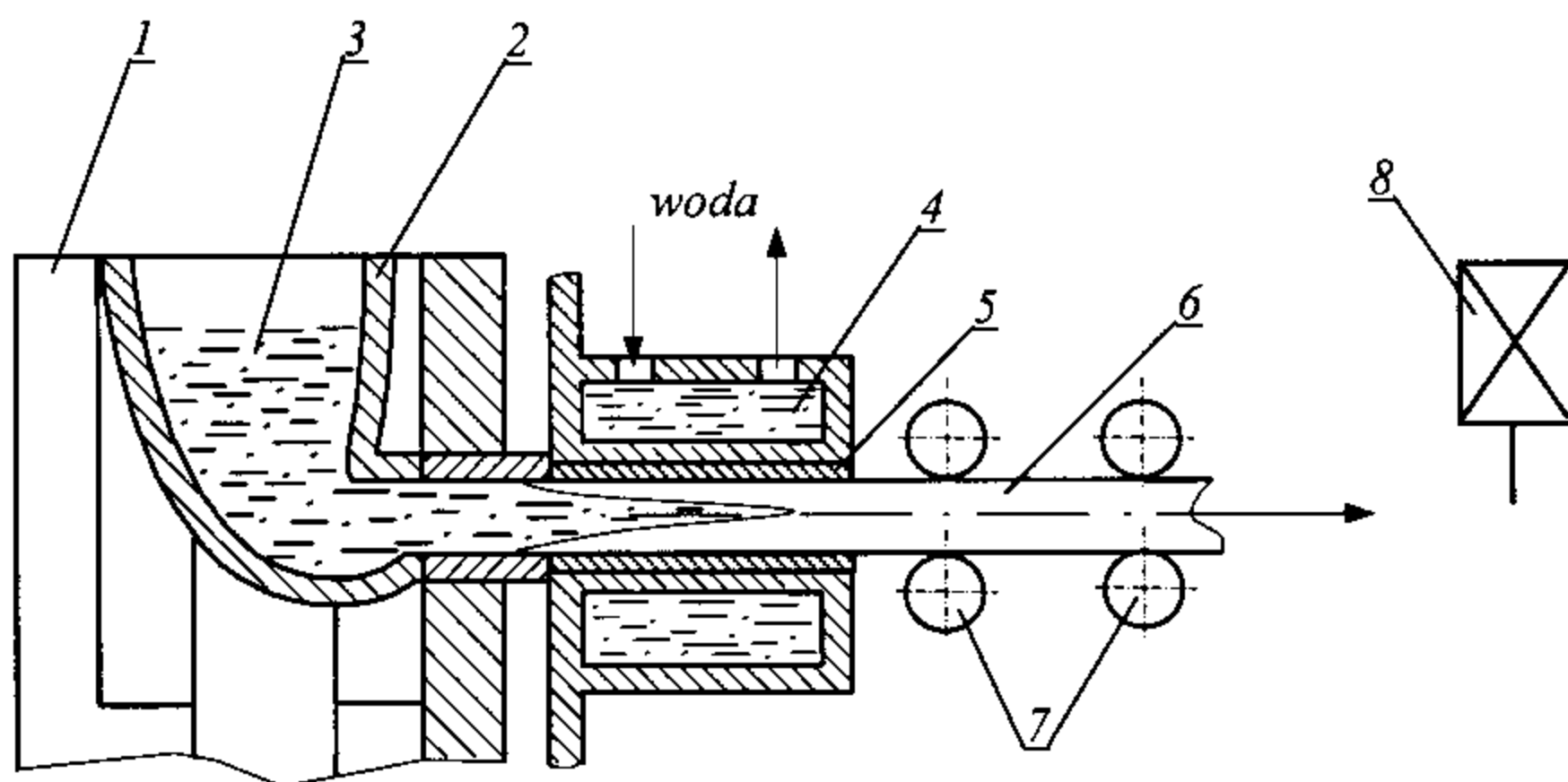
Zakres zastosowania metody odlewania odśrodkowego ograniczają następujące czynniki:

- konieczność ścisłego dozowania ciekłego metalu do formy,
- możliwość występowania w odlewie niejednorodności i segregacji strukturalnej (zależy od rodzaju stopu, prędkości wirowania formy),
- wysoki koszt urządzeń i oprzyrządowania oraz ich eksploatacji,
- wymagana wielkość serii jest większa niż dla odlewów kokilowych,
- trudności we wprowadzeniu pełnej mechanizacji.

W zasadzie odlewanie odśrodkowe stosuje się do wszystkich stopów odlewniczych jak i materiałów niemetalowych. Spośród metali nieżelaznych w formach wirujących wykonuje się odlewy ze stopów aluminium oraz szeregu stopów metali nieżelaznych ciężkich, a rzadziej ze stopów cynku i magnezu.

8.6. Odlewanie ciągle i półciągle

Odlewanie ciągle (pionowe, poziome lub blach) polega na wypełnieniu tworzywa odlewniczego w trwałej formie zwanej kokilą lub krystalizatorem, a powstały odlew w sposób zaś ciągły lub skokowy opuszcza formę po jej przeciwnej stronie (rys. 8.5).



Rys. 8.5. Schemat poziomego odlewania ciągłego: 1- piec grzewczy, 2 – tygiel, 3 – ciekłe tworzywo odlewnicze, 4 – chłodnica, 5 – kokila (krystalizator chłodzony wodą), 6 – odlew, 7 – rolki ciągnące, 8 – narzędzie tnące

Metoda ta jest stosowana do wytwarzania odlewów o stałym przekroju i znacznej długości przekraczającej wielokrotnie długość formy (rury, wałki, kształtowniki, wlewki).

W początkowej fazie procesu krystalizator jest zamknięty zaczepem umieszczonym na końcu, tzw. drągiem startowym, spełniającym również funkcję korka, którym to po zakrzepnięciu metalu wyciąga się odlew i wprowadza na rolki transportowe. W celu łatwiejszego oddzielenia (odlewu) zakrzepniętego tworzywa odlewniczego od ścianek formy, krystalizator wykonuje ruchy drgające.

Otrzymany odlew jest cięty na odcinki określonej długości w trakcie procesu produkcyjnego lub po jego zakończeniu

Odlewanie półciągle oparte jest na tej samej zasadzie, z tym, że długość odlewu jest ściśle ograniczona, bez konieczności cięcia na odcinki.

Odlewanie ciągle i półciągle znalazło zastosowanie do wytwarzania odlewów ze stopów metali nieżelaznych (głównie Al, Pb, Zn) oraz żeliwa szarego, żeliwa sferoidalnego i ciągliwego oraz staliwa.

8.7. Część praktyczna ćwiczenia

8.7.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest praktyczne zapoznanie się studentów z procesem wytwarzania odlewu kokilowego oraz wpływem parametrów procesu odlewania na jakość wykonanego odlewu.

Studenci wykonują pomiary podstawowych parametrów procesu:

- temperaturę kokili,
- temperaturę tworzywa zalewanego,
- temperaturę przy której wyjmowany jest odlew z kokili,
- czas cyklu odlewania.

Ponadto studenci zapoznają się z procesem wytwarzania odlewów ciśnieniowych.

8.7.2. Wykonanie odlewu kokilowego

Wyposażenie stanowiska laboratoryjnego:

1. Kokile doświadczalne.
2. Piece elektryczny tyglowy do topienia metali.
3. Łyżka odlewnicza, zgarniacz żużla, kleszcze do ładowania materiałów wsadowych, itp.
4. Stop odlewniczy (cynkowy lub aluminiowy).
5. Termoelement do pomiaru temperatury.
6. Pokrycie ochronne kokili.
7. Stoper (rejestrator czasu).

Przebieg ćwiczenia:

1. Przygotowanie kokili do zalania:
 - nałożenie pokrycia ochronnego kokili ($0,2 \div 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$),
 - złożenie obu połówek formy,
 - pomiar temperatury kokili zimnej,
 - podgrzanie drugiej kokili do temperatury około 100°C ,
 - pomiar temperatury tworzywa odlewniczego (temperatury zalewania),
2. Zalanie kokili ciekłym tworzywem odlewniczym.

W trakcie ćwiczenia studenci wykonują dwa zalania kokili ciekłym tworzywem odlewniczym. Pierwsze zalanie do kokili podgrzanej do temperatury ok. 100°C , drugie do kokili zimnej.

Po każdym zalaniu należy dokonać pomiaru czasu stygnięcia kokili poczynając od momentu zalewania do momentu wyjęcia odlewu z kokili.

8.7.3. Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

1. Krótki opis przebiegu ćwiczenia i użytej aparatury.
2. Wykresy zmian temperatury w funkcji czasu.
3. Interpretację wyników badań.
4. Wnioski końcowe.

8.8. Literatura

1. Perzyk M. i inni: *Odlewnictwo*. PWN. Warszawa 2000; 2004.
2. Tabor A. i inni.: *Projektowanie odlewów i technologii form*. Wydawnictwo „Fabit”. Kraków 1998.
3. Rączka J. i inni: *Technologia odlewnictwa – projektowanie nowoczesnych metod wykonywania odlewów*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1994.
4. Murza-Mucha P.: *Techniki wytwarzania - odlewnictwo*. PWN. Warszawa 1978.
5. Praca zbiorowa. *Poradnik inżyniera – odlewnictwo*. PWN. Warszawa 1986.

9. Specjalne metody odlewania. Technologia form dla modeli jednorazowych

Do wytwarzania odlewów z wykorzystaniem modeli jednorazowych (traconych modeli) zalicza się:

1. Odlewanie metodą wytapianych modeli woskowych.
2. Odlewanie metodą wytapianych modeli do form szklanych.
3. Proces pełnej formy (wypalanych modeli).

Wadą tych metod, jest to, że modele są jednorazowe, a do każdego drugiego procesu wykonania odlewu wymagają ponownego ich wykonania.

9.1. Wykonanie odlewu metodą wytapianych modeli

Odlewanie metodą wytapianych modeli może mieć zastosowanie w produkcji seryjnej i masowej ze wszystkich stopów metali oraz kompozytów, a w szczególności stopów o dużej temperaturze topnienia dla odlewów o małych i średnich wymiarach.

Wytwarzanie odlewów tą metodą polega na zastosowaniu modeli oraz form wykonanych jednorazowo dla każdego procesu odlania. Jest to forma niedzielona, wykonana z materiałów ceramicznych i ma postać nie dzielonej skorupy (nie mylić z formowaniem skorupowym). Metoda ta ma szczególne zastosowanie w następujących przypadkach:

- jeżeli tworzywo odlewnicze jest trudno lub praktycznie nie obrabialne mechanicznie,
- gdy wymagana jest duża dokładność zachowania wymiarów i gładkość powierzchni odlewu, a inne metody na to nie pozwalają,
- wykonanie odlewów, których innymi metodami odlewania, ze względu na złożony kształt nie można w ogóle otrzymać (np.: wirniki turbin, frezy, rozwiertaki, wiertła itp.),
- jeżeli przy zastosowaniu tej metody można uniknąć montażu dwóch lub więcej elementów w jedną całość.

Na dokładność wymiarową odlewów mogą wpływać następujące czynniki:

- błędy wymiarowe wykonania matrycy,
- rozszerzalność cieplna matrycy,
- skurcz materiału modelu,
- skurcz formy ceramicznej,
- skurcz tworzywa odlewniczego.

Chropowatość powierzchni odlewów wykonanych metodą wytapianych modeli jest bardzo mała i zależy od:

- chropowatości powierzchni wnętrza matrycy,
- sposobu wykonania modelu,
- technologii wykonania formy, tzn. od rodzaju użytych materiałów (osnowa, spoiwo) i techniki jej wykonania, np.: kształt i wielkość ziarna piasku pierwszej powłoki, bezpośrednio przylegającej warstwie do modelu.

9.1.1. Wykonywanie modeli woskowych

Modele wykonuje się w matrycach lub inny dowolny sposób umożliwiający nadanie kształtów i wymiaru dla odlewu. Matryca jest w tym przypadku dzieloną formą do wykonywania modeli. W zależności od wielkości produkcji, kształtu i przeznaczenia odlewów matryce mogą być wykonane z tworzyw sztucznych, stali i stopów aluminium. Wybór materiału i sposobu wykonania matrycy zależy od wielkości serii odlewów, wymaganej dokładności i kształtu odlewu.

Materiałami na mieszanki niskotopliwe mogą być, np.: wosk pszczeli, wosk Montana, wosk roślinny, wosk syntetyczny, parafina, stearyna, cerezyna itp.). Materiały na model powinny się charakteryzować jak najmniejszą temperaturą topnienia, jak najmniejszym skurczem, małą gęstością oraz dobrą plastycznością.

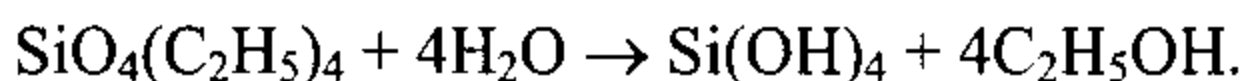
Wypełnienie wnętrza matrycy materiałem modelowym może być wykonywane w dwojaki sposób, tj. poprzez wtrysk (stan ciekły) lub prasowanie (stan ciastowaty). Wybór sposobu wykonania modelu zależy od rodzaju materiału (mieszanki), wielkości oraz kształtu modelu.

Wykonane woskowe modele łączy się z woskowym układem wlewowym w odpowiedni zestaw modelowy.

9.1.2. Wykonanie formy ceramicznej

Formę wykonuje się z masy ceramicznej, której osnowę ziarnową stanowią sproszkowane piaski (tzw. mączka), np.: piasek cyrkonowy ($30\% \text{SiO}_2 + \text{ZrO}_2$), silimanit ($60\% \text{Al}_2\text{O}_3 + 40\% \text{SiO}_2$), mulit, szamot czy też piasek kwarcowy itp.

Powszechnie najlepszym spoiwem stosowanym w tej technologii są roztwory na krzemianie etylu lub zole kwasu krzemowego, a dla odlewów o mniejszych wymaganiach może być stosowany krzemian sodu (szkło wodne sodowe). Krzemian etylu $\text{SiO}_4(\text{C}_2\text{H}_5)_4$ poddaje się hydrolizie poprzez dodanie wody według reakcji:



Ponieważ krzemian etylu nie rozpuszcza się w wodzie, to jako rozpuszczalnika używa się alkoholu etylowego. W wyniku reakcji, powstający stopniowo kwas krzemowy H_4SiO_4 w postaci koloidalnej przechodzi następnie w żel, który wykazuje dobre właściwości wiążące.

Hydroliza, jako proces wiązania powinna przebiegać w gotowej masie w czasie wytwarzania powłok ceramicznych. Stąd też regulowanie czasu hydrolizy prowadzi się poprzez dodanie do wody niewielkich ilości kwasu solnego HCL. Tak przygotowany roztwór miesza się ze sproszkowanym piaskiem (mączką) w stosunku 1÷1 do 1÷2, otrzymując masę ceramiczną (zawiesinę) o konsystencji gęstej cieczy.

Wykonanie warstwy formy ceramicznej polega na kilkakrotnym zanurzeniu zestawu modelowego w uprzednio przygotowanej masie ceramicznej. W zależności od kształtu, wymiaru i masy wytwarzanych odlewów na zestaw modelowy nanosi się 3 ÷ 8 warstw (powłok) o grubości 0,15 ÷ 0,7 mm. Po wyjęciu i obcieknięciu powierzchni zestawu, każdą warstwę posypuje się gruboziarnistym materiałem ceramicznym (piaskiem) w celu zwiększenia wytrzymałości, przyczepności i zapobieganiu pękania skorupy. W ten sposób otrzymuje się kilka warstw, stanowiących ogniotrwałą powłokę ceramiczną o grubości 2 ÷ 6 mm. Tak otrzymaną gotową skorupę utwardza się przez suszenie na powietrzu.

Po wstępnym obsuszeniu i utwardzeniu powłok następuje wytopienie modeli w gorącej wodzie, parze (w autoklawach) lub gorącym powietrzu (w piecach elektrycznych). Wytopiony materiał modeli topliwych używany jest ponownie do wytwarzania następnych modeli. Natomiast modele z tworzyw sztucznych usuwa się przez wypalanie lub rozpuszczanie w odpowiednich rozpuszczalnikach.

Formy, których modele były wytapiane w wodzie lub parze wodnej podlegają suszeniu w temperaturze 100 ÷ 200°C w ciągu 2 ÷ 3 godzin.

W dalszej kolejności formy wypraża (wyżarza) się w piecach w temperaturze 800 ÷ 1000°C w celu ostatecznego utwardzenia i podwyższenia wytrzymałości. W wyniku wyprażania następuje wypalenie ewentualnych resztek materiału modelu, usunięcie gazów, oraz nadanie mikropęknięć ułatwiających odgazowanie wnętrza formy.

Form po dokonaniu wyżarzania nie studzi się, tylko bezpośrednio przekazuje się je do zalania ciekłym tworzywem odlewniczym, co pozwala na zwiększenie zdolności dobrego wypełnienia, odwzorowania wnętrza i możliwość otrzymania odlewów o cienkich przekrojach (np. grubość ścianki 0,5 ÷ 0,3 mm). Zalewanie form może być wykonane grawitacyjnie lub pod niskim ciśnieniem.

Formy ceramiczne wykonane metodą wytapianych modeli można podzielić na:

- formy samonośne,
- formy blokowe,
- formy z sypkim wypełniaczem.

Formy samonośne otrzymuje się poprzez wielokrotne zanurzenie w masie ceramicznej zestawu modelowego i obsypanie każdej powłoki piaskiem kwarcowym. W zależności od masy odlewów i stosowanych materiałów ceramicznych forma samonośna może mieć grubość $5 \div 15$ mm.

Formy blokowe charakteryzują się tym, że w ich skład wchodzi kilka zestawów modelowych połączonych wspólnym układem wlewowym.

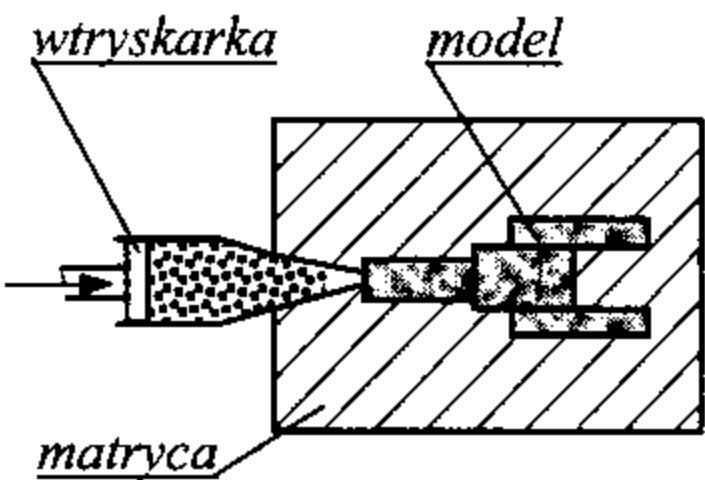
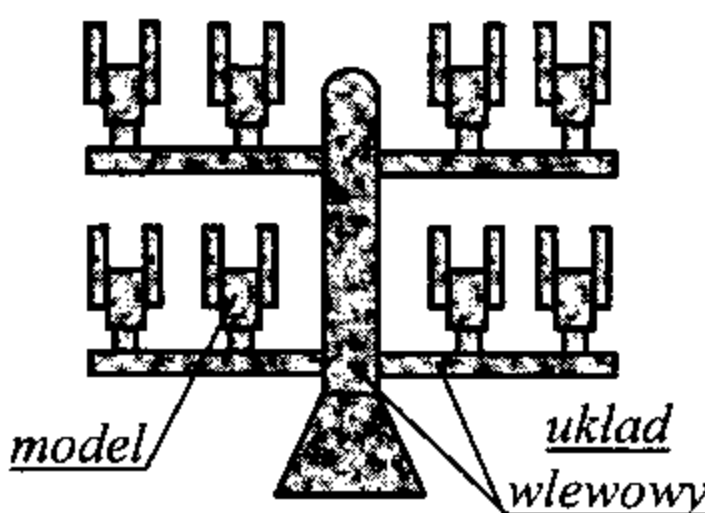
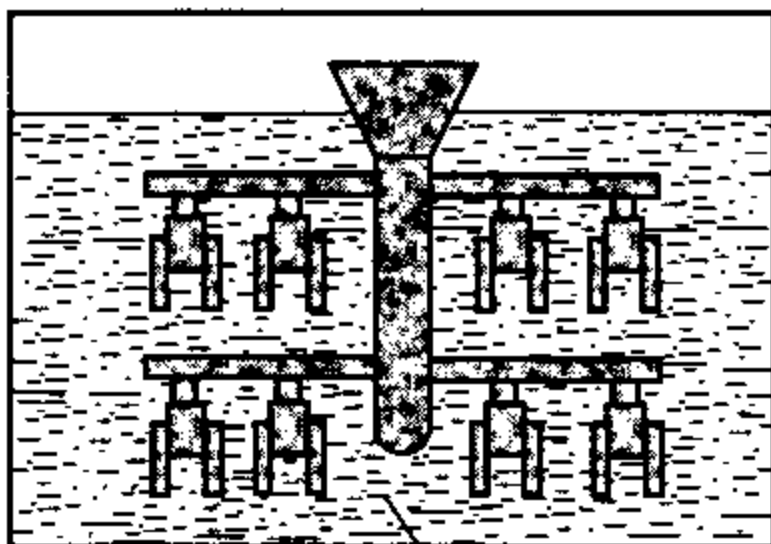
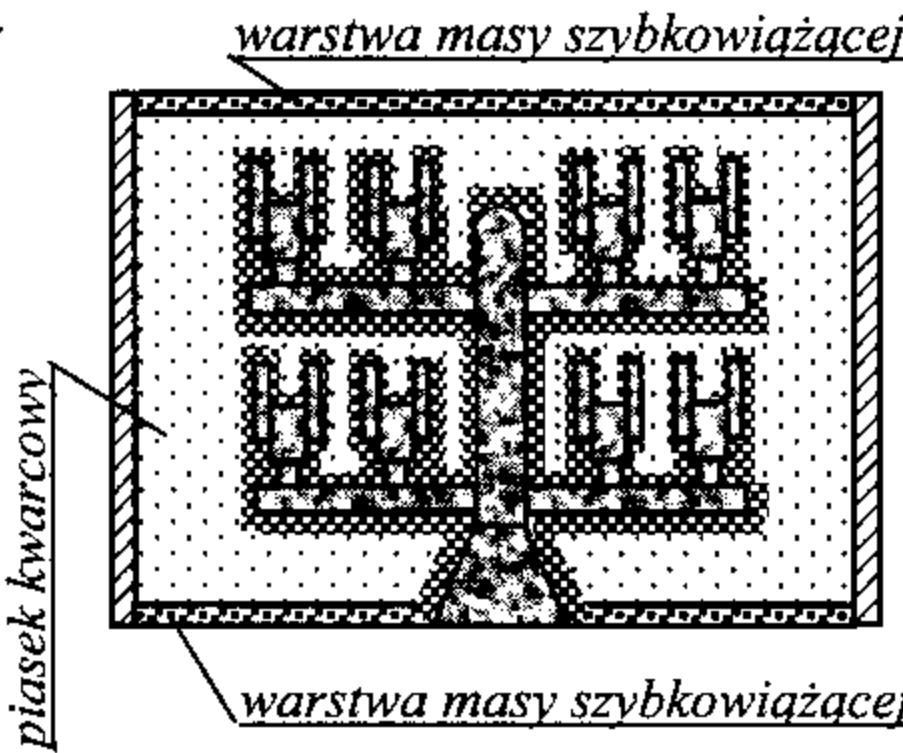
Forma z sypkim wypełniaczem polega na umieszczeniu zespołu modelowego (od 1 do 2 powłok) w tulei (skrzynce), pełniącej zadanie skrzynki formierskiej oraz zasypanie jej suchym, gruboziarnistym piaskiem kwarcowym lub masą szamotową. Wypełnianie tulei i zagęszczenie piasku, wykonuje się na stole wibracyjnym, aby wolne przestrzenie między modelami dokładnie zostały wypełnione piaskiem. Wierzch (lub też i spód) tulei zamyka się zazwyczaj masą szybkowiążącą na szkle wodnym, wykorzystując proces dehydratacji, np. proces CO_2 .

Jedną z podobnych technologii odlewania metodą wytapianych modeli jest odlewanie do form szklanych. Różnica w tej technologii polega na zastosowaniu innych materiałów na masę ceramiczną. Zamiast piasków kwarcowych lub cyrkonowych stosuje się sproszkowane czyste szkło kwarcowe.

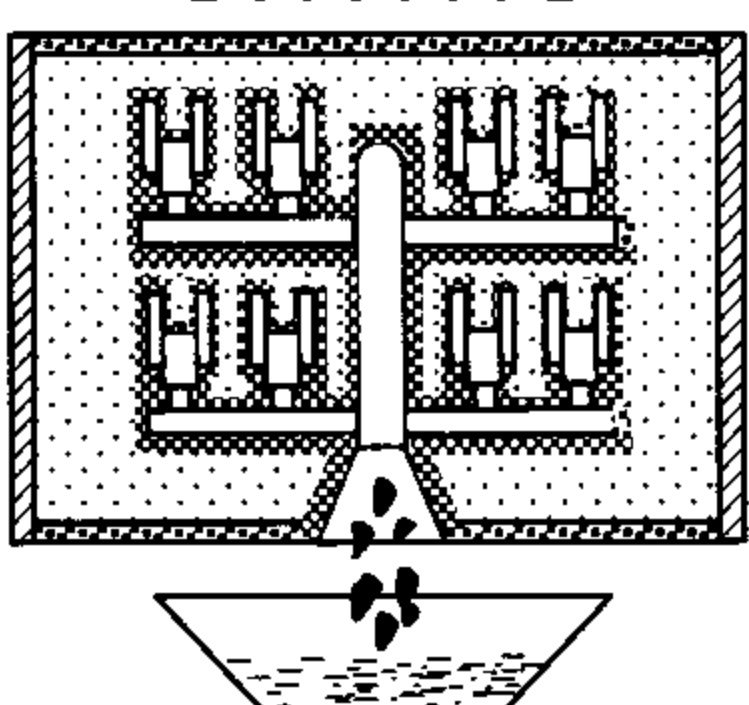
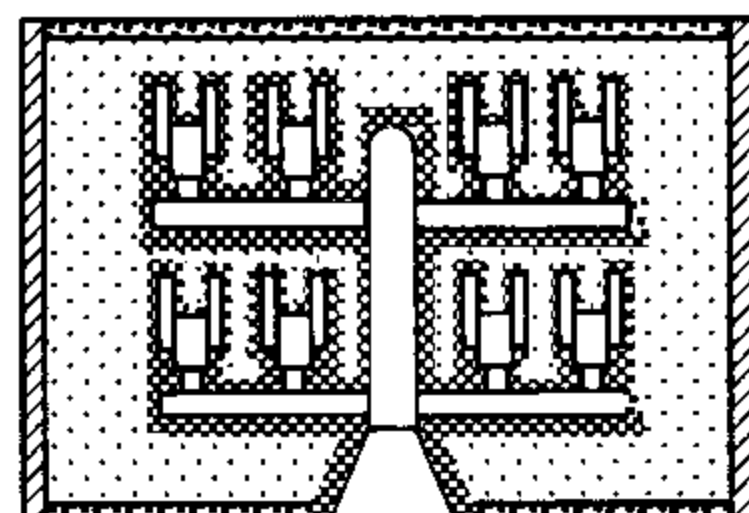
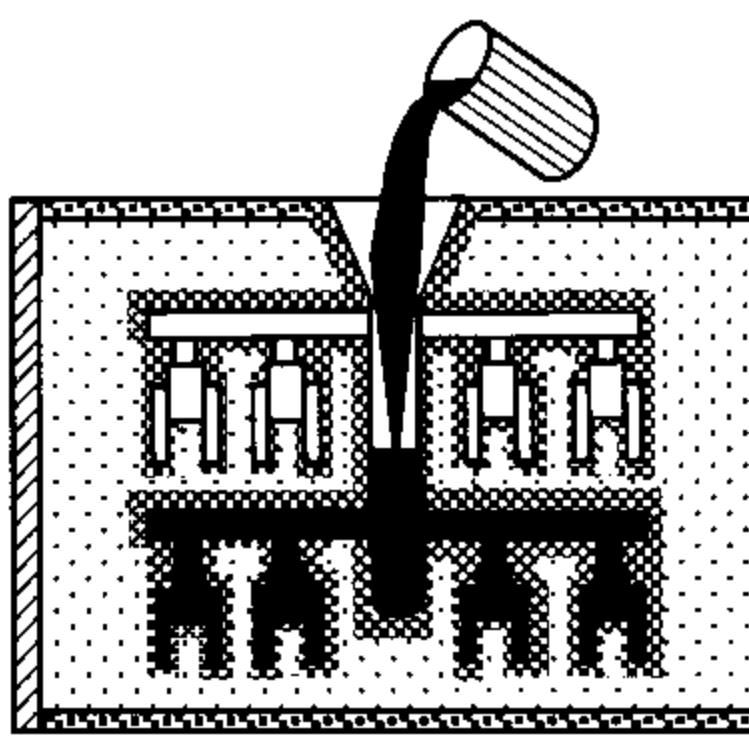
Odlewanie metodą wytapianych modeli do form szklanych umożliwia wykonanie odlewów o dużej tolerancji wymiarowej, rzędu 0,005 mm na długości 10 mm, przy jednoczesnym uzyskaniu bardzo dużej gładkości powierzchni.

Przykładowy schemat procesu wykonania odlewu metodą wytapianych modeli z sypkim wypełniaczem przedstawia tablica 9.1.

Tablica 9.1. Przykładowy schemat przebiegu procesu technologicznego wykonania odlewów metodą wytapianych modeli dla form z sypkim wypełniaczem

Operacje	Zakres czynności
1  wtryskarka model matryca	Wykonanie modelu odlewu oraz modelu układu wlewowego metodą wtrysku lub prasowania.
2  model układ wlewowy	Łączenie modeli z układem wlewowym w zestaw modelowy.
3  masa ceramiczna	Wykonanie formy ceramicznej, nie dzielonej poprzez zanurzenie zestawu w masie ceramicznej oraz obsypywanie piaskiem w celu ukształtowania skorupy na zestawie modelowym. Każdą warstwę suszyć.
4  warstwa masy szybkowiązącej piasek kwarcowy warstwa masy szybkowiązącej	Ustawienie modeli ze skorupą w skrzynce i zasypywanie ich suchym piaskiem kwarcowym. Wypełnienie piaskiem kwarcowym wykonać na stole wibracyjnym. Wierzch i dół skrzynki zamknąć, np. masą szybkowiązącą.

cd. Tablica 9.1.

5 	Wytopienie modeli i układu wlewowego z formy ceramicznej.
6 	Wyżarzanie formy. Proces wyżarzania prowadzi się w celu usunięcia pozostałości masy modelowej i części lotnych z formy oraz nadanie jej wymaganej wytrzymałości mechanicznej.
7 	Bezpośrednio po wypaleniu zalać formę ciekłym tworzywem odlewniczym.
8 	Wybicie formy i usunięcie ceramicznej skorupy. Oddzielenie odlewów od układu wlewowego i ich obróbka wykańczająca.

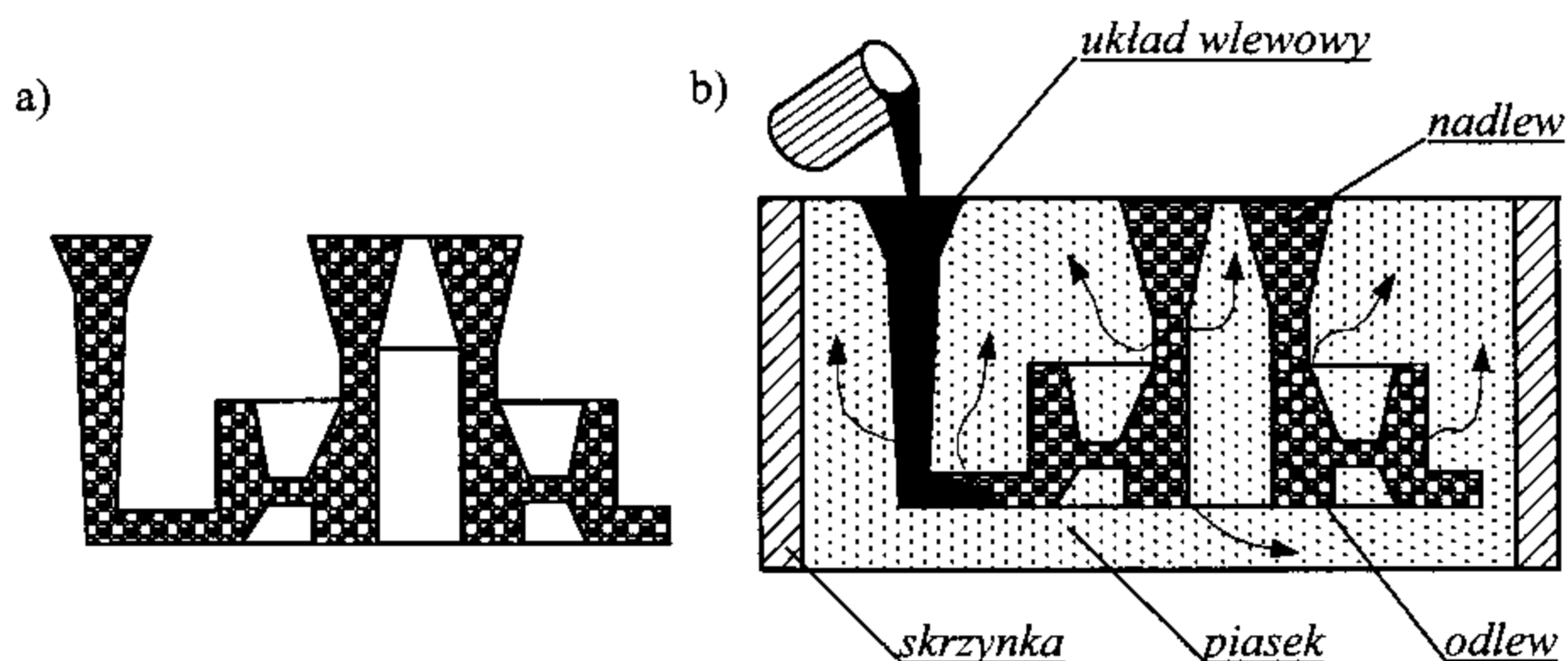
9.2. Proces pełnej formy (wypalanych modeli)

Proces wytwarzania odlewów metodą pełnej formy rozpoczyna się od wykonania jednorazowego modelu z tworzywa ulegającego łatwemu zgazowaniu w temperaturze zalewania tworzywem odlewniczym, np. polistyrenu (styropianu). W następnej kolejności model pokrywa się ochronną powłoką na bazie mieszaniny alkoholowo - cyrkonowej lub grafitowej.

Jednorazowe modele można wykonać ręcznie poprzez wycinanie z gotowych płyt polistyrenowych i ich klejenie lub przez kształtowanie w specjalnych formach pęczniącego pod wpływem temperatury granulowanego polistyrenu.

Tak wykonany model z dołożonym zbiornikiem wlewowym umieszcza się w skrzynce formierskiej i obsypuje się go suchym piaskiem kwarcowym (rys. 9.1). W celu zagęszczenia piasku i osiągnięcia żądanej sztywności skrzynkę z umieszczonym w niej modelem poddaje się vibracji.

Po zagęszczeniu forma jest zalewana. Podczas zalewania polistyrenowy model zostaje stopiony i następnie zgazowany, a tworzywo odlewnicze wypełnia powstałą wnękę formy. W procesie tym należy koniecznie zachować dynamiczną równowagę między zgazowaniem materiału modelu, a odprowadzaniem gazów z wnęki formy, ponieważ powstałe gazy uchodzą przez powłokę i warstwę wypełnionego piasku.



Rys. 9.1. Zasada procesu pełnej formy (zgazowanych modeli): a) model z polistyrenu, b) zalanie tworzywem odlewniczym i zgazowanie modelu

9.3. Część praktyczna ćwiczenia

9.3.1. Cel i zakres ćwiczenia

Ćwiczenie ma na celu zapoznanie studentów z technologią wykonania odlewów precyzyjnych w metodach traconych modeli.

9.3.2. Przebieg ćwiczenia

1. Wykonanie w matrycy modelu wytapianego.
2. Sporządzenie masy ceramicznej.
3. Wykonanie formy ceramicznej do zalania ciekłym tworzywem.
4. Wykonanie modelu ze styropianu.
5. Wykonanie formy odlewu w procesie wypalanych modeli (proces pełnej formy).

9.3.3. Opracowanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać (opis w punktach):

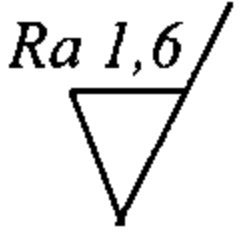
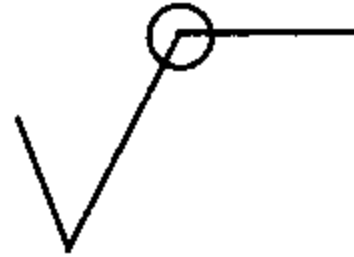
1. Opis procesu technologicznego wykonania modelu woskowego.
2. Opis procesu technologicznego wykonania samonośnej formy ceramicznej.
3. Opis procesu technologicznego wykonania odlewu metodą pełnej formy (wypalanych modeli).
4. Obserwacje własne, uwagi i wnioski.

9.4. Literatura

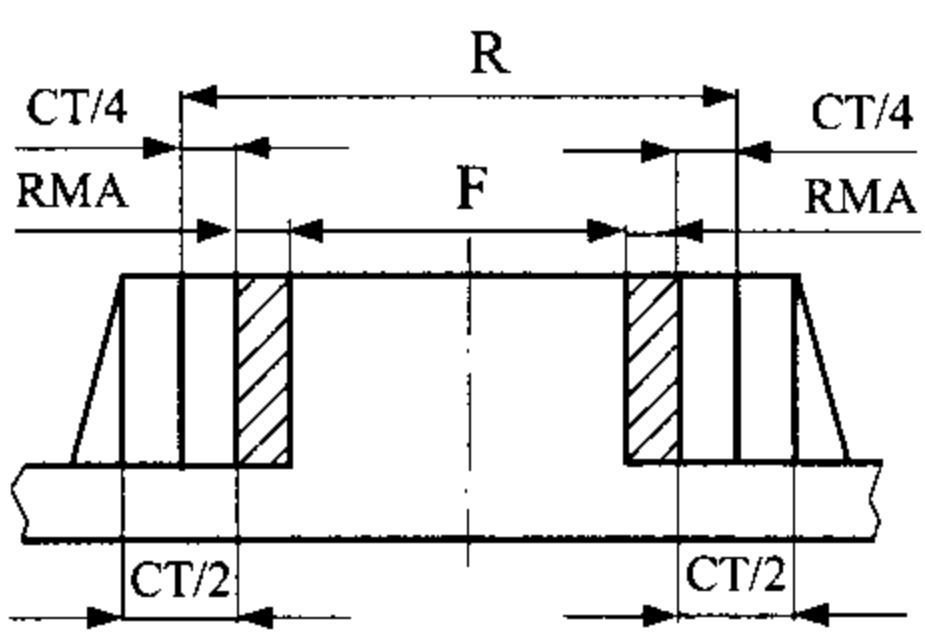
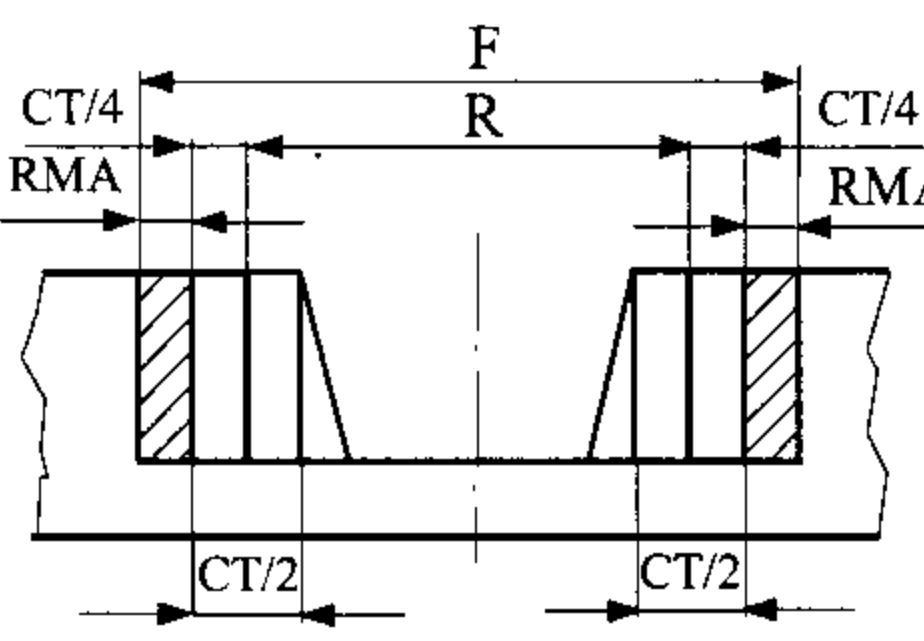
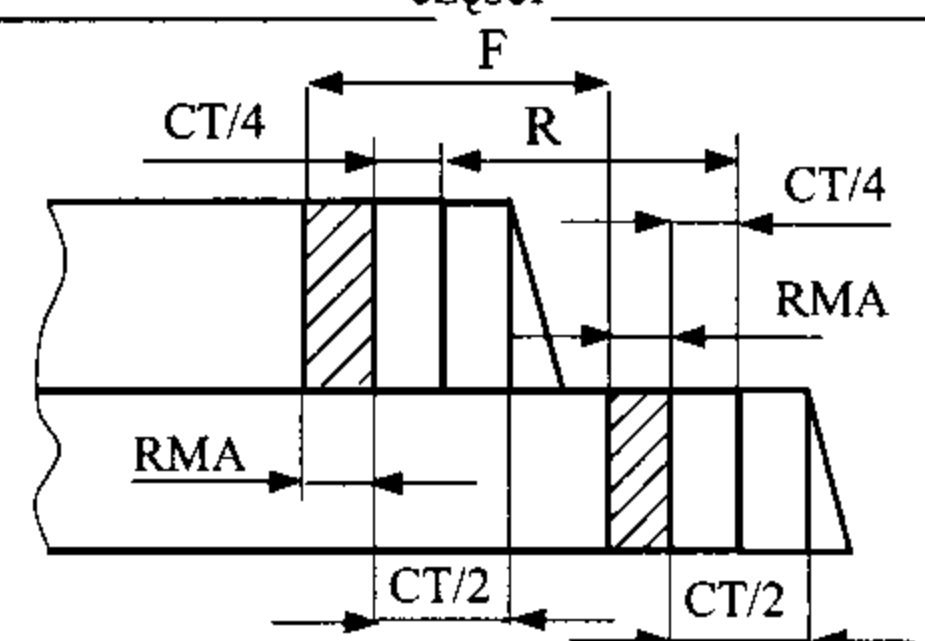
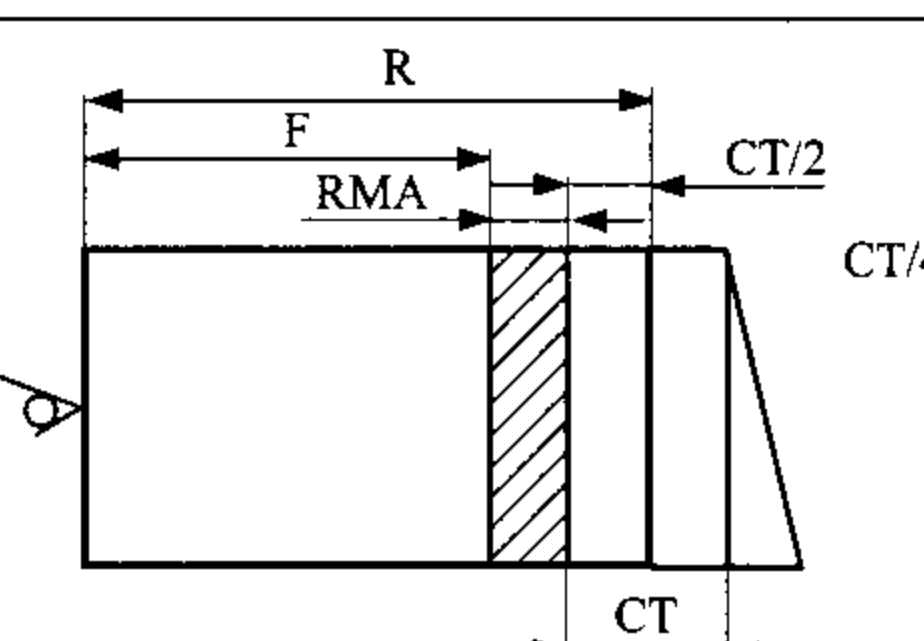
1. Perzyk M. i inni: *Odlewnictwo*. PWN. Warszawa 2000, 2004.
2. Rączka J. i inni: *Technologia odlewnictwa – projektowanie nowoczesnych metod wykonywania odlewów*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1994.
3. Rączka J.: *Technologia odlewnictwa*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1988.
4. Rączka J.: *Technologia odlewnictwa – projektowanie*. Skrypt Politechniki Krakowskiej. Kraków 1988.
5. Murza-Mucha P.: *Techniki wytwarzania – odlewnictwo*. WNT. Warszawa 1978.
6. Jemielewski J.: *Odlewnictwo metali nieżelaznych*. WNT. Warszawa 1970.

**WYBRANE NORMATYWNE MATERIAŁY
POMOCNICZE DO
ĆWICZEŃ I PROJEKTOWANIA ODLEWÓW**

Tablica Z1. Wybrane, podstawowe symbole graficzne chropowatości na rysunkach
[PN ISO 1302:2002]

Symbol graficzny	Znaczenie
	Symbol podstawowy. Sam symbol może być tylko wtedy, gdy jego znaczeniem jest „powierzchnia rozważana” lub gdy jest objaśniony za pomocą uwagi. Symbol nie określa żadnego wymagania dotyczącego chropowatości powierzchni.
	Powierzchnia obrobiona przez skrawanie bez oznaczenia żadnych szczegółów. Sam symbol może być stosowany tylko wtedy, gdy jego znaczeniem jest „powierzchnia obrobiona przez skrawanie”. Symbol nie określa żadnego wymagania dotyczącego chropowatości powierzchni.
	Sam symbol może być stosowany tylko wtedy, gdy jego znaczeniem jest „powierzchnia obrobiona przez skrawanie”. W symbolu tym określona jest wartość średniego arytmetycznego odchylenia profilu chropowatości Ra przez usunięcie materiału obróbką skrawaniem.
	Powierzchnia, z której usunięcie materiału jest niedopuszczalne. Symbol ten może być stosowany także na rysunku odnoszącym się do procesu obróbki, w celu oznaczenia, że powierzchnia ma pozostać w stanie wynikającym z poprzedniego procesu technologicznego, bez względu na to, czy stan ten został osiągnięty przez usunięcie materiału lub w inny sposób. W tym przypadku do tego symbolu graficznego nie dodaje się żadnych innych oznaczeń.
	Powierzchnia, z której usunięcie materiału jest niedopuszczalne, a struktura geometryczna powierzchni powinna być uzyskana za pomocą procesu innego niż usunięcie materiału. W tym przypadku do tego symbolu graficznego podaje się wartości Ra zamieszczone w tablicy Z16. Przykładem tu może być struktura geometryczna powierzchni odlewu lub odkuwki.
	Symbol ten stosowany jest, jeżeli na wszystkich powierzchniach całego obwodu części jest wymagana ta sama struktura geometryczna.

Tablica Z2. Przykłady umiejscowienia pola tolerancji w odlewach
[PN – ISO 8062:1997]

Obróbka skrawaniem wystającej części	Obróbka skrawaniem wewnętrznych części
 $R = F + 2RMA + CT/2$	 $R = F - 2RMA - CT/2$
Obróbka skrawaniem stopniowanych części	Obróbka skrawaniem jednego boku
 $R = F$	 $R = F + RMA + CT/2$
gdzie: R – wymiar podstawowy surowego odlewu; F – wymiar końcowy po obróbce skrawaniem; RMA wymagany naddatek na obróbkę skrawaniem; CT – tolerancja odlewu.	

Dokładność wykonania odlewu zależy od wielu czynników, takich jak:

- złożoności konstrukcji,
- rodzaju oprzyrządowania modelowego lub formy metalowej,
- stosowanego tworzywa odlewniczego (stopu),
- stanu jakościowego modeli lub form metalowych,
- metody pracy odlewni.

Dla krótkich serii produkcyjnych odlewów wykonywanych w formach piaskowych pojedynczych odlewów stosowanie modeli metalowych i pełnego oprzyrządowania, dążenie do zawężenia tolerancji jest niepraktyczne i nieekonomiczne.

Tablica Z3. Klasy tolerancji dla odlewów w produkcji jednostkowej lub małoseryjnej
[PN ISO 8062:1997]

Metoda	Materiał formierski	Klasa tolerancji CT							
		Rodzaj stopu							
		Staliwo	Żeliwo szare	Żeliwo sferoidalne	Żeliwo ciągliwe	Stopy Cu	Stopy metali lekkich	Stopy Ni	Stopy Co
Odlewanie do form piaskowych ręcznie formowanych	Masy z lepiszczem gliniastym	13	13	13	13	13	11	13	13
		÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷
		15	15	15	15	15	13	15	15
	Masy na bazie spoiw	12	11	11	11	10	10	12	12
		÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷	÷
		14	13	13	13	12	12	14	14

Uwagi:

- Wartości podane w tablicy ogólnie dotyczą wymiarów podstawowych większych od 25 mm. Dla mniejszych wymiarów bardziej ekonomicznie i praktycznie uzasadnione będą następujące tolerancje:
 - wymiar podstawowy do 10 mm; o trzy klasy niższe,
 - wymiar podstawowy od 10 do 16 mm; o dwie klasy niższe,
 - wymiar podstawowy od 16 do 25 mm; o jedną klasę niższą.
- Niniejsze klasy tolerancji mogą być stosowane do procesów i materiałów nie podanych w tablicy, po uzgodnieniu pomiędzy producentem a użytkownikiem.

Tablica Z5. Tolerancje odlewu [PN ISO 8062:1997]

Wymiar podstawowy surowego odlewu [mm]		Pole tolerancji odlewu ¹⁾ [mm]															
powyżej	do i włącznie	Klasa tolerancji odlewu CT ^{2,3)}															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 ₄₎	14 ₄₎	15 ₄₎	16 _{4,5)}
-	10	0,09	0,13	0,18	0,26	0,36	0,52	0,74	1	1,5	2	2,8	4,2	-	-	-	-
10	16	0,1	0,14	0,2	0,28	0,38	0,54	0,78	1,1	1,6	2,2	3	4,4	-	-	-	-
16	25	0,11	0,15	0,22	0,3	0,42	0,58	0,82	1,2	1,7	2,4	3,2	4,6	6	8	10	12
25	40	0,12	0,17	0,24	0,32	0,46	0,64	0,9	1,3	1,8	2,6	3,6	5	7	9	11	14
40	63	0,13	0,18	0,26	0,36	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	10	12	16
63	100	0,14	0,2	0,28	0,4	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6	9	11	14	16
100	160	0,15	0,22	0,3	0,44	0,62	0,88	1,2	1,8	2,5	3,6	5	7	10	12	16	20
160	250	-	0,24	0,34	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,6	8	11	14	18	22
250	400	-	-	0,4	0,56	0,78	1,1	1,6	2,2	3,2	4,4	6,2	9	12	16	20	25
400	630	-	-	-	0,64	0,9	1,2	1,8	2,6	3,6	5	7	10	14	18	22	18
630	1000	-	-	-	-	1	1,4	2	2,8	4	6	8	11	16	20	25	32
1000	1600	-	-	-	-	-	1,6	2,2	3,2	4,6	7	9	13	18	23	29	37
1600	2500	-	-	-	-	-	-	2,6	3,8	5,4	8	10	15	21	26	33	42
2500	4000	-	-	-	-	-	-	-	4,4	6,2	9	12	17	24	30	38	49
4000	6300	-	-	-	-	-	-	-	-	7	10	14	20	28	35	44	56
6300	10000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	16	23	32	40	50	64

CT – to pierwsze litery wyrażenia „*casting tolerances*”

¹⁾ – patrz tablica Z2.

²⁾ – dla grubości ścianek w klasach CT1 do CT15 stosuje się klasę o jeden stopień wyższą.

³⁾ – do wymiarów, dla których ogólne tolerancje nie są odpowiednie lub nie podane w tablicy, należy stosować tolerancje indywidualne.

⁴⁾ – dla wymiarów do 16 mm ogólne tolerancje od CT13 do CT16 nie są stosowane. Dla tych wymiarów stosować indywidualne tolerancje.

⁵⁾ – klasę CT16 stosuje się tylko do grubości ścianek odlewu określonych w klasie CT15.

Tablica Z7. Wielkości naddatków na obróbkę skrawaniem [PN ISO 8062:1997]

Największy ¹⁾ wymiar [mm]		Naddatki na obróbkę skrawaniem [mm]									
powyżej	do i włącznie	Stopień naddatku na obróbkę skrawaniem									
		A ²⁾	B ²⁾	C	D	E	F	G	H	J	K
-	40	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,7	1	1,4
40	63	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	2
63	100	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4
100	160	0,3	0,4	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3	4	6
160	250	0,3	0,5	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8
250	400	0,4	0,7	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10
400	630	0,5	0,8	1,1	1,5	2,2	3	4	6	9	12
630	1000	0,6	0,9	1,2	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14
1000	1600	0,7	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8	11	16
1600	2500	0,8	1,1	1,6	2,2	3,2	4,5	6	9	13	18
2500	4000	0,9	1,3	1,8	2,5	3,5	5	7	10	14	20
4000	6300	1	1,4	2	2,8	4	5,5	8	11	16	22
6300	10000	1,1	1,5	2,2	3	4,5	6	9	12	17	24

¹⁾ – największy zewnętrzny wymiar odlewu po końcowej obróbce.

²⁾ – stopienie A i B powinny być stosowane tylko w szczególnych przypadkach, np. w produkcji seryjnej lub masowej, w której oprzyrządowanie modelowe, proces odlewania i proces obróbki, odniesiony do poszczególnych powierzchni i powierzchni bazowych oraz innych powierzchni został uzgodniony pomiędzy zamawiającym a producentem.

Dla górnych powierzchni odlewu dopuszcza się powiększenie naddatku do 50 % wartości podanej w tablicy, za wyjątkiem stopnia A i B.

Naddatki na obróbkę otworów ustala się jak dla górnych powierzchni odlewów.

Tablica Z8. Wartości pochyłości odlewniczych dla form piaskowych
[PN-EN 12890:2002]

Wysokość H [mm]		Pochylenie T					
		powierzchnie płytke ($H/W \leq 1$)			powierzchni głębokie ($H/W \geq 1$)		
		formowanie ręczne		formowa- nie maszy- nowe	formowanie ręczne		formo- wanie maszy- nowe
powyżej	do, włącz- nie	masy naturalne	masy wiązane chemicz- nie		masy naturalne	masy wiązane chemicz- nie	
-	30	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0
30	80	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0
80	180	3,0	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0
180	250	3,5	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0
250	1000	+1,0 co 250 mm	+1,0 co 250 mm	+1,0 co 250 mm	+1,0 co 250 mm	+1,0 co 250 mm	+1,0 co 250 mm
1000	4000	+2,0 co 1000 mm	+2,0 co 1000 mm	+2,0 co 1000 mm	+2,0 co 1000 mm	+2,0 co 1000 mm	+2,0 co 1000 mm

W – szerokość wewnętrzna

Tablica Z9. Wartości pochyłości odlewniczych dla odlewów wykonanych w masach
samoutwardzalnych¹

Wysokość H [mm]		Wielkość pochylenia (max)		
powyżej	do	α [°]	a/H	a [mm]
20	40	3°	1/20	2,0
40	60	3°	1/20	3,0
60	100	2° 30'	1/20	4,5
100	150	2°	1/25	5,5
150	250	1° 30'	1/40	6,5
250	400	1° 10'	1/50	8,0
400	600	1°	1/60	10,0
600	800	50'	1/70	11,5
800	1000	45'	1/80	12,5
1000	1250	40'	1/80	14,5
1250	1600	35'	1/90	16,5
1600	2500	30'	1/115	22,0

¹ Jopkiewicz A. i inni: *Odlewnictwo – laboratorium*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. Łódź 2001.

Tablica Z10. Pochylenia odlewów wykonanych grawitacyjnie w formach metalowych ¹

Wysokość H [mm]		Wielkość pochylenia odlewniczego									
powyżej	do	Stopy żelaza		Stopy aluminium				Stopy miedzi			
				Swobodny skurcz		Utrudniony skurcz		Swobodny skurcz		Utrudniony skurcz	
		α [°]	a [mm]	α [°]	a [mm]	α [°]	a [mm]	α [°]	a [mm]	α [°]	a [mm]
-	25	3°	1,5	2°	1,0	4°	2,0	3°	1,5	4°	2,0
25	50	2° 30'	2,2	1° 45'	1,5	3° 30'	3,0	2° 30'	2,2	3° 30'	3,0
50	100	2°	3,5	1° 30'	2,5	3°	5,5	2°	3,5	3°	5,5
100	150	1° 45'	4,5	1° 15'	3,5	2° 30'	6,5	2°	5,5	3°	8,0
150	250	1° 30'	6,5	1°	4,5	2°	9,0	1° 45'	8,0	2° 30'	11,0
250	Każdorazowo ustalane										
Pochylenia wewnętrzne powierzchni odlewów powinny być każdorazowo ustalane											

Tablica Z11. Pochylenia odlewnicze ścianek odlewów ze stopów metali nieżelaznych wykonanych pod ciśnieniem ¹

Stop	Pochylenia odlewnicze	
	zewnątrzne α [°]	wewnętrzne α [°]
Sn, Zn, Pb	15' ÷ 30'	minimum 30'
Al., Mg	30' ÷ 1°	minimum 1°
Cu	minimum 1°	minimum 1°

¹ Jopkiewicz A. i inni: *Odlewnictwo – laboratorium*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. Łódź 2001.

Tablica Z12. Minimalne grubości ścianek odlewów wytwarzanych w formach piaskowych¹

Rodzaj stopu	Najmniejsza grubość ścianki odlewu [mm]		
	Odlewy małe	Odlewy średnie	Odlewy duże
Żeliwo szare	3	8 ÷ 10	12 ÷ 15
Żeliwo ciągliwe	3 ÷ 4	6 ÷ 8	-
Staliwo	5 ÷ 7	10 ÷ 12	12 ÷ 20
Stopy Al	3 ÷ 5	5 ÷ 8	-
Stopy Mg	3 ÷ 5	5 ÷ 8	-
Brązy	3 ÷ 5	5 ÷ 8	-

Tablica Z13. Minimalne grubości ścianek odlewów kokilowych¹

Rodzaj stopu	Wielkość lub masa odlewu [kg]	Minimalna grubość ścianki odlewu [mm]	
		Bez rdzenia lub z rdzeniem metalowym	Z rdzeniem piaskowym
Stopy Al	mały	2,8 ÷ 3,0	2,0 ÷ 3,0
	średni	3,0 ÷ 4,0	3,0 ÷ 3,5
	duży	4,0 ÷ 5,0	3,5 ÷ 4,0
Stopy Mg	mały	< 4,0	< 3,0
	średni	6,0 ÷ 9,0	5,0 ÷ 8,0
Stopy Zn		2,0 ÷ 3,0	-
Stopy Cu		4,0 ÷ 6,0	3,0 ÷ 5,0
Żeliwo: szare sferoidalne, ciągliwe	< 5	< 4	< 3
	5 ÷ 25	4,0 ÷ 8,0	3,0 ÷ 6,0
	25 ÷ 100	8,0 ÷ 18,0	6,0 ÷ 12,0
	> 100	> 18,0	> 12,0
Staliwo węglowe	< 10	6,0 ÷ 8,0	4,0 ÷ 6,0
	10 ÷ 100	8,0 ÷ 16,0	6,0 ÷ 12,0
	100 ÷ 500	16,0 ÷ 25,0	12,0 ÷ 20,0
	> 500	> 25,0	> 20,0
Staliwo stopowe	< 10	< 12,0	< 10,0
	10 ÷ 50	12,0 ÷ 20,0	10,0 ÷ 16,0
	> 50	> 20,0	> 16,0

¹ Jopkiewicz A. i inni: *Odlewnictwo – laboratorium*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. Łódź 2001.

Tablica Z14. Minimalne grubości ścianek dla odlewów ciśnieniowych¹

Powierzchnia podziału odlewu [mm ²]	Grubość ścianki odlewu [mm]		
	Rodzaj stopu		
	Zn, Pb, Sn	Al, Mg	Cu
do 2500	0,6 ÷ 1,0	0,8 ÷ 1,2	1,5 ÷ 2,0
2500 ÷ 10000	1,0 ÷ 1,5	1,2 ÷ 1,8	2,0 ÷ 2,5
10000 ÷ 50000	1,5 ÷ 2,0	1,8 ÷ 2,5	2,5 ÷ 3,0
powyżej 50000	2,0 ÷ 2,5	2,5 ÷ 3,0	3,0 ÷ 4,0

Tablica Z15. Minimalne grubości ścianek odlewów wykonanych metodą wytapianych modeli¹

Powierzchnia odlewu	Grubość ścianki odlewu [mm]		
	Rodzaj stopu		
	staliwo węglowe i niskostopowe	stopu Al, Mg	brąz berylowy
duża	2,5 ± 0,25	1,5 ± 0,25	-
mała (6 cm ²)	1,6	1,3	1,0

Tablica Z16. Chropowatość surowych powierzchni odlewu¹

Rodzaj stopu odlewniczego	Rodzaj technologii odlewania	Chropowatość <i>Ra</i> [μm]
Żeliwo	Odlewanie w formach piaskowych	12,5 ÷ 200
	Odlewanie kokilowe	6,3 ÷ 25
	Odlewanie precyzyjne	3,2 ÷ 25
Staliwo	Odlewanie w formach piaskowych	25 ÷ 200
	Odlewanie kokilowe	6,3 ÷ 50
	Odlewanie precyzyjne	1,6 ÷ 25
Stopy aluminium	Odlewanie w formach piaskowych	6,3 ÷ 200
	Odlewanie kokilowe	1,6 ÷ 50
	Odlewanie ciśnieniowe i precyzyjne	0,8 ÷ 25
Stopy miedzi	Odlewanie w formach piaskowych	12,5 ÷ 100
	Odlewanie kokilowe	6,3 ÷ 100
	Odlewanie ciśnieniowe i precyzyjne	3,2 ÷ 50
Stopy magnezu i cynku	Odlewanie w formach piaskowych	12,5 ÷ 200
	Odlewanie kokilowe	6,3 ÷ 100
	Odlewanie ciśnieniowe i precyzyjne	0,8 ÷ 25

¹ Jopkiewicz A. i inni: *Odlewnictwo – laboratorium*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. Łódź 2001.

Tablica Z17. Zalecane długości poziomych znaków rdzeniowych form wilgotnych¹

Wymiar nominalny D lub $\frac{a+b}{2}$		Długość otworu – L , [mm]							
		do 50	powyżej 50 do 150	powyżej 150 do 300	powyżej 300 do 500	powyżej 500 do 750	powyżej 750 do 1000	powyżej 1000 do 1500	powyżej 1500 do 2000
powyżej	do	Długość znaku rdzeniowego- $l^{1), 2)}$, [mm]							
-	25	15	25	40	-	-	-	-	-
25	50	20	30	45	60	-	-	-	-
50	100	25	35	50	70	90	110	-	-
100	200	30	40	55	80	100	120	140	160
200	300	-	50	60	90	110	130	150	180
300	400	-	-	80	100	120	140	160	200
400	500	-	-	100	120	130	150	180	230
500	750	-	-	-	140	150	170	200	250
750	1000	-	-	-	-	180	200	230	280
1000	1250	-	-	-	-	200	230	250	300
1250	1500	-	-	-	-	-	250	280	330

¹⁾ dla rdzeni mocowanych tylko w jednym gnieździe rdzennika dopuszcza się powiększyć długość l znaku rdzeniowego do wielkości równej długości L ,
²⁾ dla rdzeni mocowanych w więcej niż dwóch gniazdach dopuszcza się zmniejszenie długości l znaku rdzeniowego o wartość $30 \div 50\%$.

Tablica Z18. Zalecane wysokości pionowych znaków rdzeniowych form wilgotnych i suszonych¹

Wymiar nominalny D lub $\frac{a+b}{2}$		Długość otworu (wysokość) – H , [mm]							
		do 50	powyżej 50 do 150	powyżej 150 do 300	powyżej 300 do 500	powyżej 500 do 750	powyżej 750 do 1000	powyżej 1000 do 1500	powyżej 1500 do 2000
powyżej	do	Wysokość znaku rdzeniowego- $h^{1)}$, [mm]							
-	25	20	25	-	-	-	-	-	-
25	50	20	40	60	70	-	-	-	-
50	100	25	35	50	70	100	120	-	-
100	200	30	30	40	60	90	110	160	200
200	300	35	35	40	50	80	100	150	190
300	400	40	40	40	50	70	90	140	180
400	500	40	40	40	50	60	90	130	170
500	750	50	50	50	50	60	100	120	160
750	1000	50	50	50	50	50	60	110	150
1000	1250	-	60	60	60	60	60	100	140
1250	1500	-	70	70	70	70	70	80	130
1500	2000	-	90	90	90	90	90	90	120
2000	2500	-	100	100	100	100	100	100	110
2500	-	-	110	110	110	110	110	110	110

¹⁾ w przypadku braku górnego znaku rdzeniowego wysokość h dopuszcza się powiększyć do 50%

¹ Jopkiewicz A. i inni: *Odlewnictwo – laboratorium*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. Łódź 2001.

Tablica Z19. Orientacyjne wielkości luzów znaków rdzeniowych dla odlewów żeliwnych¹

2017-01-01

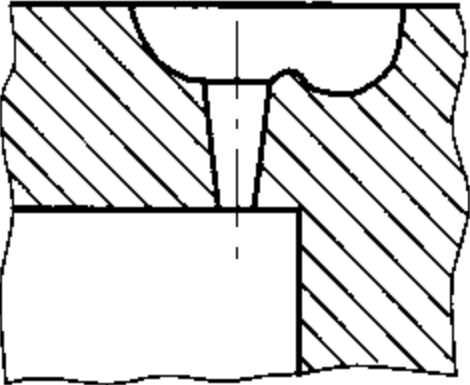
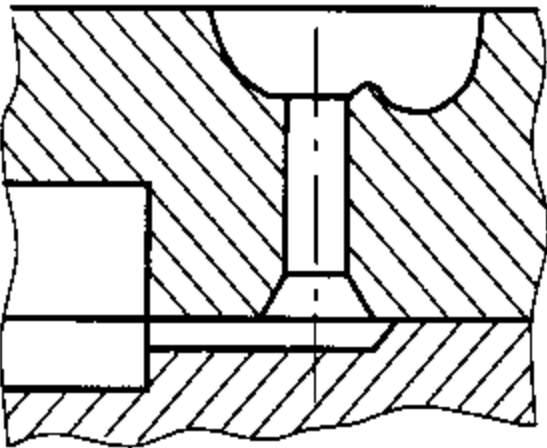
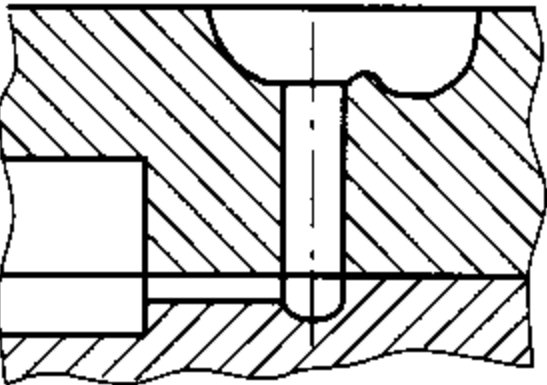
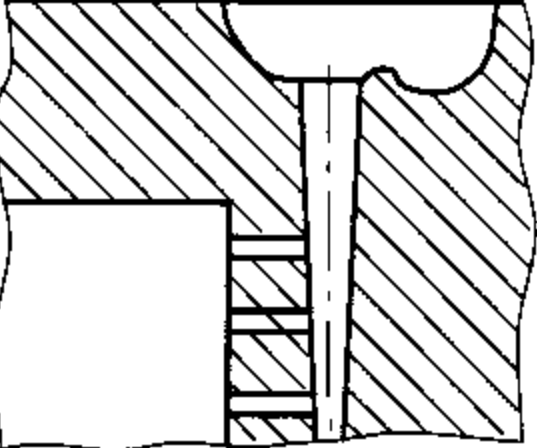
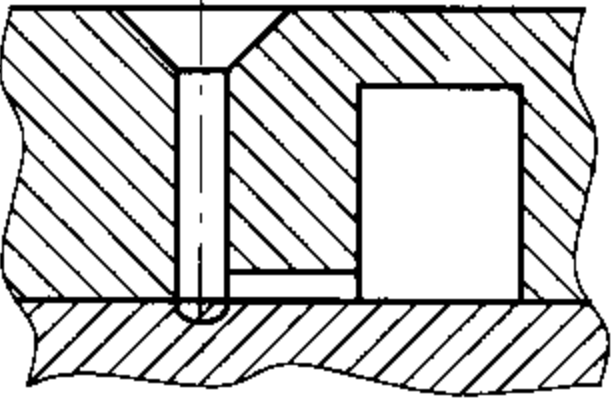
Długość L lub wysokość H rdzenia		Sposoby wykonania formy i rdzenia	Wymiar nominalny [mm]					
			do 80	powyżej 80 do 150	powyżej 150 do 250	powyżej 250 do 500	powyżej 500 do 1000	powyżej 1000 do 1600
>	do	Formowanie ręczne	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
-	250		0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50
250	500		0,75	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00
500	1000	Formowanie maszynowe	0,25	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
-	250		0,50	0,50	1,00	1,00	1,25	1,50
250	500		0,75	0,75	1,25	1,25	1,50	2,00
500	1000							

Tablica Z20. Orientacyjne wielkości luzów znaków rdzeniowych dla odlewów ze stopów metali nieżelaznych o gęstości poniżej $4,5 \text{ g/cm}^3$ ¹

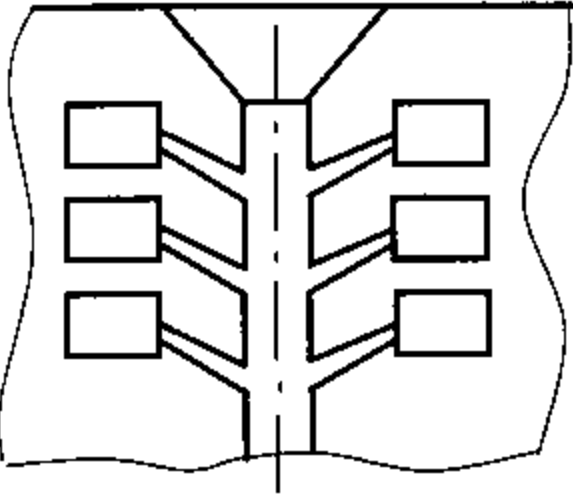
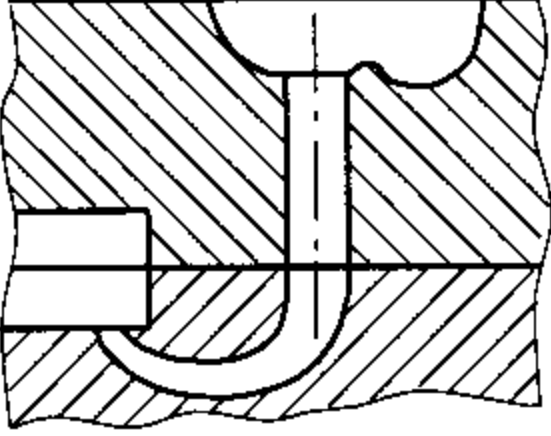
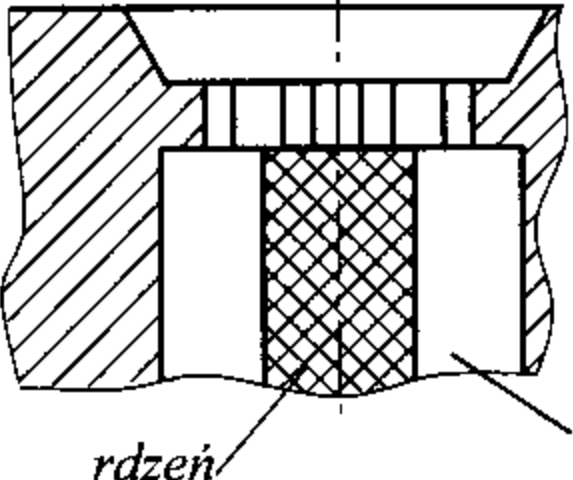
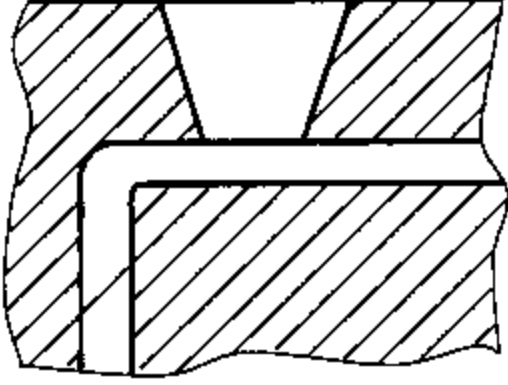
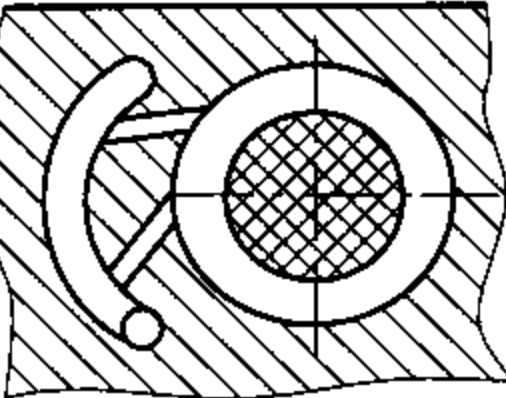
Długość L lub wysokość H rdzenia		Sposób wykonania formy i rdzenia	Wymiar nominalny, [mm]					
			do 80	powyżej 80 do 150	powyżej 150 do 250	powyżej 250 do 500	powyżej 500 do 1000	powyżej 1000 do 1600
powyżej	do	Formowanie ręczne						
-	250		0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
250	500		0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50
500	1000	Formowanie maszynowe	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00
-	250		0,25	0,25	0,5	0,75	1,00	1,25
250	500		0,50	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50
500	1000		0,75	0,75	1,00	1,25	1,50	2,00

¹ Jopkiewicz A. i inni: *Odlewnictwo – laboratorium*. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej. Łódź 2001.

Tablica Z21. Wybrane przykłady rodzajów układów wlewowych

Typ układu	Zastosowanie
 Układ wlewowy górny (prosty)	Jest to układ konstrukcyjnie najprostszy i daje możliwość dobrego zasilania odlewu i kierunkowego jego krzepnięcia. Zastosowanie dla odlewów o małej masie, niewysokich o prostych i cienkich lub średnich ściankach odlewu. Odlewy proste, nie obrabiane.
 Układ wlewowy zwykły	Odlewy o niedużej wysokości wykonywane z różnych tworzyw odlewniczych.
 Układ wlewowy boczny	Stosowany dla odlewów o niedużej wysokości, średniej masy o większych wymiarach przy formowaniu maszynowym, głównie z żeliwa szarego.
 Układ wlewowy wielopoziomowy (kaskadowy)	Zapewnia spokojne wypełnienie wnęki formy i zapewnia równomierne rozłożenia temperatur w objętości odlewu. Stosowany do odlewów o znacznej wysokości, głównie z żeliwa szarego, sferoidalnego i staliwa.
 Układ wlewowy dolny (syfonowy)	Zapewnia spokojne wypełnienie wnęki formy. Stosowany do odlewów niewysokich.

cd. Tablica Z21.

Typ układu	Przykłady zastosowania
 Układ wlewowy ukośny	Zapewnia bardzo spokojne wypełnienie wnętrza formy i kierunkowe krzepnięcie odlewu. Znajduje zastosowanie dla odlewów ciężkich i o grubych ściankach, szczególnie w odlewnictwie metali nieżelaznych.
 Układ wlewowy rożkowy	Niewysokie tuleje, koła zębate itp., odlewane głównie z żeliwa szarego.
 Układ wlewowy deszczowy <i>rdzeń</i> <i>tuleja</i>	Odlewy o kształcie brył obrotowych (tuleje, cylindry itp.) z żeliwa szarego, sferoidalnego i stopów miedzi.
 Układ wlewowy klinowy	Odlewy cienkościenne z żeliwa szarego.
 Układ wlewowy styczny	Różne tuleje, wirniki, z żeliwa szarego i innych tworzyw odlewniczych.

Tablica Z22. Klasy jakości modeli, zestawów modelowych i rdzennic
[PN-EN 12890:2002]

Rodzaj materiału	Klasa jakości
Drewno	H1, H2, H3
Metal	M1, M2
Tworzywa sztuczne	K1, K2

Tablica Z23. Klasy jakości – modele, zespoły modelowe i rdzennice wykonane z drewna [PN-EN 12890:2002]

Cechy		Klasy jakości		
		H1	H2	H3
Zakres pomiaru [mm]		Tolerancja [mm]		
powyżej	do, włącznie			
-	30	± 0,2	± 0,2	± 0,4
30	50	± 0,3	± 0,3	± 0,5
50	80	± 0,3	± 0,3	± 0,6
80	120	± 0,4	± 0,4	± 0,7
120	180	± 0,5	± 0,5	± 0,8
180	250	± 0,6	± 0,6	± 0,9
250	315	± 0,6	± 0,6	± 1,0
315	400	± 0,7	± 0,7	± 1,1
400	500	± 0,8	± 0,8	± 1,2
500	630	± 0,9	± 0,9	± 1,4
630	800	± 1,0	± 1,0	± 1,6
800	1000	± 1,1	± 1,1	± 1,8
1000	1250	± 1,3	± 1,3	± 2,1
1250	1600	± 1,5	± 1,5	± 2,5
1600	2000	± 1,8	± 1,8	± 3,0
2000	2500	± 2,2	± 2,2	± 3,5
2500	3150	± 2,7	± 2,7	± 4,3
3150	4000	± 3,2	± 3,2	± 5,0
Zastosowanie		Do seryjnej produkcji w formiarniach ręcznych i maszynowych o wysokich wymaganiach	Do produkcji małoseryjnej w formiarniach ręcznych i maszynowych	Do produkcji jednostkowej w formiarniach ręcznych
Liczba form: - modele duże (do 30 dm ³), - modele średnie (10 do 30 dm ³), - modele małe (do 10 dm ³).		do 200 200 do 5000 1000 do 10000	5 do 20 20 do 100 100 do 200	do 10 10 do 20 20 do 50

Tablica Z24. Klasy jakości – modele, zespoły modelowe i rdzennice wykonane z metalu [PN-EN 12890:2002]

Cechy		Klasy jakości	
		M1	M2
Zakres pomiaru [mm]		Tolerancja [mm]	
powyżej	do, włącznie		
-	30	$\pm 0,10$	$\pm 0,15$
30	50	$\pm 0,15$	$\pm 0,20$
50	80	$\pm 0,15$	$\pm 0,25$
80	120	$\pm 0,20$	$\pm 0,30$
120	180	$\pm 0,20$	$\pm 0,30$
180	250	$\pm 0,25$	$\pm 0,35$
250	315	$\pm 0,25$	$\pm 0,40$
315	400	$\pm 0,30$	$\pm 0,45$
400	500	$\pm 0,30$	$\pm 0,50$
500	630	$\pm 0,40$	$\pm 0,60$
630	800	$\pm 0,40$	$\pm 0,60$
800	1000	$\pm 0,50$	$\pm 0,70$
1000	1250	$\pm 0,50$	$\pm 0,80$
1250	1600	$\pm 0,60$	$\pm 1,0$
1600	2000	$\pm 0,70$	$\pm 1,1$
2000	2500	$\pm 0,80$	$\pm 1,4$
2500	3150	$\pm 1,0$	$\pm 1,6$
3150	4000	$\pm 1,3$	$\pm 2,0$
Zastosowanie		Produkcja wielkoseryjna o wysokich wymaganiach	Produkcja wielkoseryjna
Rodzaj materiału na oprzyrządowanie modelowe.		Stopy aluminium, brązy, mosiądze, żeliwo, stal.	Jak dla M1, lecz także stopy niskotopliwe ołowiu oraz cyny i antymonu (83%Sn + 17%Sb).

Tablica Z25. Klasy jakości – modele, zespoły modelowe i rdzennice wykonane z tworzyw sztucznych [PN-EN 12890:2002]

Cechy		Klasy jakości	
		K1	K2
Zakres pomiaru [mm]		Tolerancja [mm]	
powyżej	do, włącznie		
-	30	$\pm 0,15$	$\pm 0,25$
30	50	$\pm 0,20$	$\pm 0,30$
50	80	$\pm 0,25$	$\pm 0,35$
80	120	$\pm 0,30$	$\pm 0,45$
120	180	$\pm 0,30$	$\pm 0,50$
180	250	$\pm 0,35$	$\pm 0,60$
250	315	$\pm 0,40$	$\pm 0,65$
315	400	$\pm 0,45$	$\pm 0,70$
400	500	$\pm 0,50$	$\pm 0,80$
500	630	$\pm 0,60$	$\pm 0,90$
630	800	$\pm 0,60$	$\pm 1,0$
800	1000	$\pm 0,70$	$\pm 1,1$
1000	1250	$\pm 0,80$	$\pm 1,3$
1250	1600	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$
1600	2000	$\pm 1,1$	$\pm 1,8$
2000	2500	$\pm 1,4$	$\pm 2,2$
2500	3150	$\pm 1,6$	$\pm 2,7$
3150	4000	$\pm 2,0$	$\pm 3,2$
Zastosowanie		Do wysokich wymagań odlewu. Powinny zapewnić odpowiednią wytrzymałość przy stosowaniu formowania maszynowego pod wysokimi naciskami.	Modele i rdzennice wielkogabarytowe do formowania ręcznego w małych i średnich seriach.
Rodzaj materiału na oprzyrządowanie modelowe.		Tworzywa sztuczne o wysokiej stabilności wymiarowej, odporne na ścieranie, np. żywice epoksydowe i poliuretany z wypełniaczem metalicznym lub obojętnym w zależności od temperatury procesu. Nie powinny reagować z klejami i spoiwami.	Jak dla K1

Tablica Z26. Kolorystyka pokryć powierzchni (malowanie i znaczenie kolorów) modeli, zespołów modelowych i rdzennic [PN-EN 12890:2002]

Cecha	Rodzaj tworzywa odlewniczego					
	Staliwo	Żeliwo sferoidalne	Żeliwo szare	Żeliwo ciągliwe	Metale ciężkie ¹⁾	Metale lekkie ²⁾
Kolor dla powierzchni odlewu nie obrabianej.	niebieski	fioletowy	czerwony	popielaty	żółty	zielony
Kolor dla powierzchni obrabianej odlewu.	żółte pasy ³⁾	żółte pasy ³⁾	żółte pasy ³⁾	żółte pasy ³⁾	czerwone pasy ³⁾	żółte pasy ³⁾
Gniazda na luźne elementy i ich mocowanie.	zaznaczone na czarno					
Lokalizacja ochładzalników	czerwony	czerwony	niebieski	czerwony	niebieski	niebieski
Znaki rdzeniowe i/lub położenie rdzenia.	czarny					
Wyokrąglenie.	Jeśli nie są zawarte w wyposażeniu, ale wymagane na odlewie powinny być oznaczone czarną linią kreską z podaną wartością promienia.					
Nadlewy.	żółte pasy					
Gwintowane elementy do podnoszenia ⁴⁾ .	Wskazanie wymiaru 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 powierzchnie powinny być pomalowane całe.
⁴⁾ unikać gwintu M18.

Tablica Z27. Wartości normatywne liniowego skurczu odlewniczego
[PN-EN 12890:2002]

Rodzaj stopu odlewniczego	Skurcz [%]
Żeliwo szare	1,0
Żeliwo sferoidalne, nie wyżarzane	1,2
Żeliwo sferoidalne, wyżarzane	0,5
Żeliwo austenityczne (żeliwo odporne na ścieranie)	2,5
Żeliwo ciągliwe białe	1,6
Żeliwo ciągliwe czarne	0,5
Staliwo	2,0
Staliwo austenityczne manganowe	2,3
Odlewnicze stopy aluminium	1,2
Odlewnicze stopy magnezu	1,2
Odlewana miedź	1,9
Odlewnicze stopy; miedź – cyna (brązy odlewnicze)	1,5
Odlewnicze stopy; miedź – cyna – cynk (spiż)	1,3
Odlewnicze stopy; miedź – cynk (mosiądze odlewnicze)	1,2
Odlewnicze stopy; miedź – cynk – (Mn, Fe, Al.) (mosiądze specjalne)	2,0
Odlewnicze stopy; miedź – aluminium – (Ni, Fe, Mn) (brązy aluminiowe)	1,9
Odlewnicze stopy cynku	1,3
Odlewnicze stopy niklu	2,1
Odlewnicze stopy łożyskowe	0,5

Tablica Z28. Klasyfikacja żeliwa szarego [PN-EN 1560:2001, PN-EN 1561:2000]

Klasyfikacja wg wytrzymałości		Klasyfikacja wg twardości	
Znak żeliwa	Wytrzymałość na rozciąganie, R_m , MPa	Znak żeliwa	Twardość, HB
EN-GJL-100	100 ÷ 200	EN-GJL-HB155	≤ 155
EN-GJL-150	150 ÷ 250	EN-GJL-HB175	100 ÷ 175
EN-GJL-200	200 ÷ 300	EN-GJL-HB195	120 ÷ 195
EN-GJL-250	250 ÷ 350	EN-GJL-HB215	145 ÷ 215
EN-GJL-300	300 ÷ 350	EN-GJL-HB235	165 ÷ 235
EN-GJL-350	350 ÷ 450	EN-GJL-HB255	185 ÷ 255

Tablica Z29. Wybrane właściwości mechaniczne wybranych żeliw sferoidalnych [PN-EN 1563:2000/A1:2004/A2:2006]

Żeliwo	Znak żeliwa	Minimalne właściwości mechaniczne			Twardość, HB
		R_m , MPa	$R_{p0.2}$, MPa	A , %	
Sferoidalne	EN-GJS-350-22	350	220	22	≤ 160
	EN-GJS-400-18	400	250	18	130 ÷ 175
	EN-GJS-400-15	400	250	15	135 ÷ 180
	EN-GJS-450-10	450	310	10	160 ÷ 210
	EN-GJS-500-7	500	320	7	170 ÷ 230
	EN-GJS-600-3	600	370	3	190 ÷ 270
	EN-GJS-700-2	700	420	2	225 ÷ 305
	EN-GJS-800-2	800	480	2	245 ÷ 335
	EN-GJS-900-2	900	600	2	270 ÷ 360
Sferoidalne hartowane z przemianą izotermiczną	EN-GJS-800-8	800	500	8	260 ÷ 320
	EN-GJS-1000-5	1000	700	5	300 ÷ 360
	EN-GJS-1200-2	1200	850	2	340 ÷ 440
	EN-GJS-1400-1	1400	1100	1	380 ÷ 480

Tablica Z30. Właściwości mechaniczne żeliw ciągliwych [PN-EN 1562:2000/A1:2006]

Rodzaj żeliwa	Znak żeliwa	Minimalne właściwości mechaniczne ¹⁾			Twardość, HB
		R_m , MPa	$R_{p0,2}$, MPa	$A_{3,4}$, %	
Ciagliwe białe	EN-GJMW-350-4	350	-	4	≤ 230
	EN-GJMW-360-12	360	190	12	≤ 200
	EN-GJMW-400-5	400	220	5	≤ 220
	EN-GJMW-450-7	450	260	7	≤ 220
	EN-GJMW-550-4	550	340	4	≤ 250
Ciagliwe czarne	EN-GJMB-300-6	300	-	6	≤ 150
	EN-GJMB-350-10	350	200	10	≤ 150
	EN-GJMB-450-6	450	270	6	$150 \div 200$
	EN-GJMB-500-5	500	300	5	$165 \div 215$
	EN-GJMB-550-4	550	340	4	$180 \div 230$
	EN-GJMB-600-3	600	390	3	$195 \div 245$
	EN-GJMB-650-2	650	430	2	$210 \div 260$
	EN-GJMB-700-2	700	530	2	$240 \div 290$
	EN-GJMB-800-1	800	600	1	$270 \div 320$
¹⁾ Właściwości określone na próbkach o średnicy 12 mm					

Tablica Z31. Warunki wytwarzania i struktura żeliw ciągliwych

Rodzaj żeliwa					Struktura
	temperatura, °C	atmosfera	czas, h	sposób chłodzenia	
Ciagliwe białe (odwęglone)	$950 \div 1000$	utleniająca	$60 \div 90$	powietrze	odwęglona struktura ferrytyczna warstwy zewnętrznej o grubości około $3 \div 5$ mm
Ciagliwe czarne (nieodwęglone)	I $900 \div 1050$ II 750	obojętna	15 $40 \div 70$	powietrze	ferryt z zaokrąglonymi wydzieleniami węgla żarzenia
	$900 \div 1050$		15	powietrze	perlit z węglem żarzenia

Tablica Z32. Ogólna klasyfikacja żeliw stopowych ze względu na stężenie dodatków stopowych

Dodatek stopowy	Stężenie pierwiastków stopowych, % w żeliwie		
	niskostopowe	średniostopowe	wysokostopowe
Ni	0,3 ÷ 2,3	2,8 ÷ 6,0	6,0 ÷ 36
Cr	0,2 ÷ 2,7	6,0 ÷ 20	≥ 20,0
Cu	0,3 ÷ 2,0	-	-
Mo	0,1 ÷ 1,2	-	-
V	0,1 ÷ 0,5	-	-
Ti	0,1 ÷ 1,0	-	-
W	0,1 ÷ 1,0	-	-
Al.	-	5,0 ÷ 18,0	≥ 18,0
Si	-	4,5 ÷ 7,0	≥ 12,0
Mn	-	-	≥ 7,0
<i>Łącznie</i>	< 3,0	3,0 ÷ 20,0	> 20,0

Tablica Z33. Orientacyjny skład chemiczny i twardość żeliw stopowych odpornych na ścieranie [EN 12513:2003]

Grupa żeliwa	Znak żeliwa	Stężenie pierwiastków ¹⁾							Minimalna twardość, HV
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	
Niskostopowe	EN-GJN-HV350	3,2	1,0	0,6	≤2,0	-	-	-	350
Ni-Cr i Cr-Ni	EN-GJN-HV520	2,8	≤0,8	≤0,8	2,3	4,3	-	-	520
	EN-GJN-HV550	3,3	≤0,8	≤0,8	2,3	4,3	-	-	550
	EN-GJN-HV600	3,0	2,0	0,6	9,0	5,5	-	-	600
Wysoko- chromowe	EN-GJN-HV600(XCr11)	2,7	≤1,0	1,0	12,5	≤2,0	≤3,0	≤1,2	600
	EN-GJN-HV600(XCr14)				16,0				
	EN-GJN-HV600(XCr18)				20,5				
	EN-GJN-HV600(XCr23)				25,5				

¹⁾ P ≤ 0,08 ÷ 0,1; S ≤ 0,08 ÷ 0,1; wartości bez znaku ≤ oznaczają stężenie średnie.

Tablica Z34. Skład chemiczny i własności mechaniczne staliw węglowych konstrukcyjnych [PN-ISO 3755:1994]

Znak staliwa ¹⁾	Maksymalne stężenie głównych pierwiastków ²⁾ , %			Minimalne własności mechaniczne				
	C	Mn	Si	$Re(R_{p,02})$, MPa	R_m MPa	A , %	Z , %	$KV^{3)}$, J
200 – 400W	0,25	1,0	0,6	200	400	25	40	45
230 – 450W		1,2		230	450	22	31	45
270 – 480W		1,2		270	480	18	25	22
340 – 550W		1,5		340	550	15	21	20

¹⁾ W – odbiór staliwa na podstawie składu chemicznego i własności mechanicznych.

Gatunki staliw bez litery W na końcu znaku - odbierane tylko na podstawie własności mechanicznych.

²⁾ $P \leq 0,035$; $S \leq 0,035$; $Ni \leq 0,4$; $Cr \leq 0,35$; $Cu \leq 0,4$; $Mo \leq 0,15$; $V \leq 0,005$; $Ni+Cr+Cu+Mo+V \leq 1,0$.

³⁾ Dla gatunków 200 – 400 i 230 – 450, minimalna praca łamania KV wynosi odpowiednio 30J i 25J.

Tablica Z35. Skład chemiczny i własności mechaniczne staliw niestopowych do pracy pod ciśnieniem [PN-EN 10213:2008]

Znak staliwa ¹⁾	Maksymalne stężenie głównych pierwiastków ²⁾ , %			Minimalne własności mechaniczne			
	C	Mn	Si	$R_{p,02}$, MPa	R_m MPa	A , %	KV , J
GP240GR + N	0,25	1,2	0,6	240	420	22	27
GP240GH + QT	0,23			240	420	22	40
GP280GH + QT	0,25			280	480	22	35
G17Mn5 + N	0,2	1,6		240	450	24	27 ³⁾

¹⁾ Litera na końcu znaku oznaczają odpowiednio:
 +N – staliwo poddaje się wyżarzaniu normalizującemu w temp. $900 \div 980^\circ\text{C}$,
 +QT – staliwo poddaje się ulepszaniu cieplnemu (hartowaniu i odpuszczaniu).

²⁾ $P \leq 0,03$; $S \leq 0,02$; $Ni \leq 0,4$; $Cr \leq 0,3$; $Cu \leq 0,3$;
 $Mo \leq 0,12$; $V \leq 0,03$; $Ni+Cr+Cu+Mo+V \leq 1,0$.

³⁾ Próba łamania w temp. -40°C

Tablica Z36. Orientacyjny skład chemiczny i własności wybranych odlewniczych stopów aluminium z krzemem (siluminów) [PN-EN 1706:2001]

Znak stopu	Stężenie pierwiastków ¹⁾ , %									Minimalne własności			
	Si	Cu	Mg	Mn	Fe	Ti	Zn	Ni	Pb	$R_{p0.2}$ MPa	R_m MPa	A_{50} %	HB
EN AC- AlSi11	10,9	$\leq 0,05$	$\leq 0,45$	$\leq 0,4$	$\leq 0,19$	$\leq 0,15$	$\leq 0,07$	-	-	70 ³⁾	150	6	45
EN AC- AlSi12(a)	12,0	$\leq 0,05$	-	$\leq 0,35$	$\leq 0,45$	$\leq 0,15$	$\leq 0,1$	-	-	70 ³⁾	150	5	50
EN AC- AlSi12(b)	12,0	$\leq 0,15$	$\leq 0,1$	$\leq 0,55$	$\leq 0,65$	$\leq 0,2$	$\leq 0,15$	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	70 ³⁾	150	4	50
EN AC- AlSi5Cu1Mg	5,0	1,3	0,5	$\leq 0,55$	$\leq 0,65$	0,15	$\leq 0,15$	$\leq 0,25$	$\leq 0,15$	200 ²⁾	230	1	100
EN AC- AlSi5Cu3	5,3	3,1	$\leq 0,05$	$\leq 0,55$	$\leq 0,6$	$\leq 0,25$	$\leq 0,2$	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	110 ²⁾	230	6	75
EN AC- AlSi5Cu3Mg	5,3	3,1	0,3	$\leq 0,55$	$\leq 0,6$	$\leq 0,25$	$\leq 0,2$	$\leq 0,1$	$\leq 0,1$	180 ²⁾	270	2,5	85
EN AC- AlSi5Cu3Mn	5,3	3,3	$\leq 0,4$	0,43	$\leq 0,8$	$\leq 0,2$	$\leq 0,55$	$\leq 0,3$	$\leq 0,2$	200 ²⁾	230	1	90
EN AC- AlSi6Cu4	6,0	4	$\leq 0,55$	0,43	$\leq 1,0$	$\leq 0,25$	$\leq 2,0$	$\leq 0,45$	$\leq 0,3$	100 ³⁾	150	1	60
EN AC- AlSi7Cu2	7,0	2,0	$\leq 0,35$	0,4	$\leq 0,8$	$\leq 0,25$	$\leq 1,0$	$\leq 0,35$	$\leq 0,25$	90 ³⁾	150	1	60
EN AC- AlSi7Cu3Mg	7,3	3,5	0,45	0,43	$\leq 0,8$	$\leq 0,25$	$\leq 0,65$	$\leq 0,3$	$\leq 0,15$	100 ³⁾	180	1	80
EN AC- AlSi8Cu3	8,5	2,8	0,3	0,4	$\leq 0,8$	$\leq 0,25$	$\leq 1,2$	$\leq 0,35$	$\leq 0,25$	90 ³⁾	150	1	60
EN AC- Si9Cu1Mg	9,0	1,05	0,45	0,35	$\leq 0,8$	0,15	$\leq 0,8$	$\leq 0,2$	$\leq 0,1$	235 ²⁾	275	1,5	105
EN AC- AlSi12(Cu)	12,0	$\leq 1,0$	$\leq 0,35$	0,3	$\leq 0,8$	$\leq 0,2$	$\leq 0,55$	$\leq 0,3$	$\leq 0,2$	80 ³⁾	150	1	50
EN AC- AlSi12CuNiMg	12,0	1,05	1,05	$\leq 0,35$	$\leq 0,7$	$\leq 0,25$	$\leq 0,35$	1,0	-	240 ²⁾	280	1	100
EN AC- AlSi2MgTi	2,0	$\leq 0,1$	0,55	0,4	$\leq 0,6$	0,13	$\leq 0,1$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	180 ²⁾	240	3	85
EN AC- AlSi7Mg	7,0	$\leq 0,2$	0,43	$\leq 0,35$	$\leq 0,55$	0,15	$\leq 0,15$	$\leq 0,15$	$\leq 0,55$	180 ²⁾	220	1	75
EN AC- AlSi7Mg0,3	7,0	$\leq 0,05$	0,35	$\leq 0,1$	$\leq 0,19$	0,16	$\leq 0,07$	-	-	190 ²⁾	230	2	75
EN AC- AlSi7Mg0,6	7,0	$\leq 0,05$	0,58	$\leq 0,1$	$\leq 0,19$	0,16	$\leq 0,07$	-	-	210 ²⁾	250	1	85
EN AC- AlSi9Mg(b)	9,5	$\leq 0,05$	0,35	$\leq 0,1$	$\leq 0,18$	$\leq 0,15$	$\leq 0,07$	-	-	190 ²⁾	230	2	75
EN AC- AlSi10Mg(a)	10,0	$\leq 0,05$	0,33	$\leq 0,45$	$\leq 0,55$	$\leq 0,15$	$\leq 0,01$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	180 ²⁾	220	1	75
EN AC- AlSi10Mg(b)	10,0	$\leq 0,1$	0,33	$\leq 0,45$	$\leq 0,55$	$\leq 0,15$	$\leq 0,1$	$\leq 0,05$	$\leq 0,05$	180 ²⁾	220	1	75

¹⁾ $\text{Sn} \leq 0,05 \div 0,25$; $\text{Cr} \leq 0,1 \div 0,15$; inne $\leq 0,03 \div 0,05$ (za wyjątkiem pierwiastków modyfikujących lub rafinujących, tj.: Na, Sr, Sb, i P); wartości bez znaku $\leq$ oznaczają stężenie średnie.

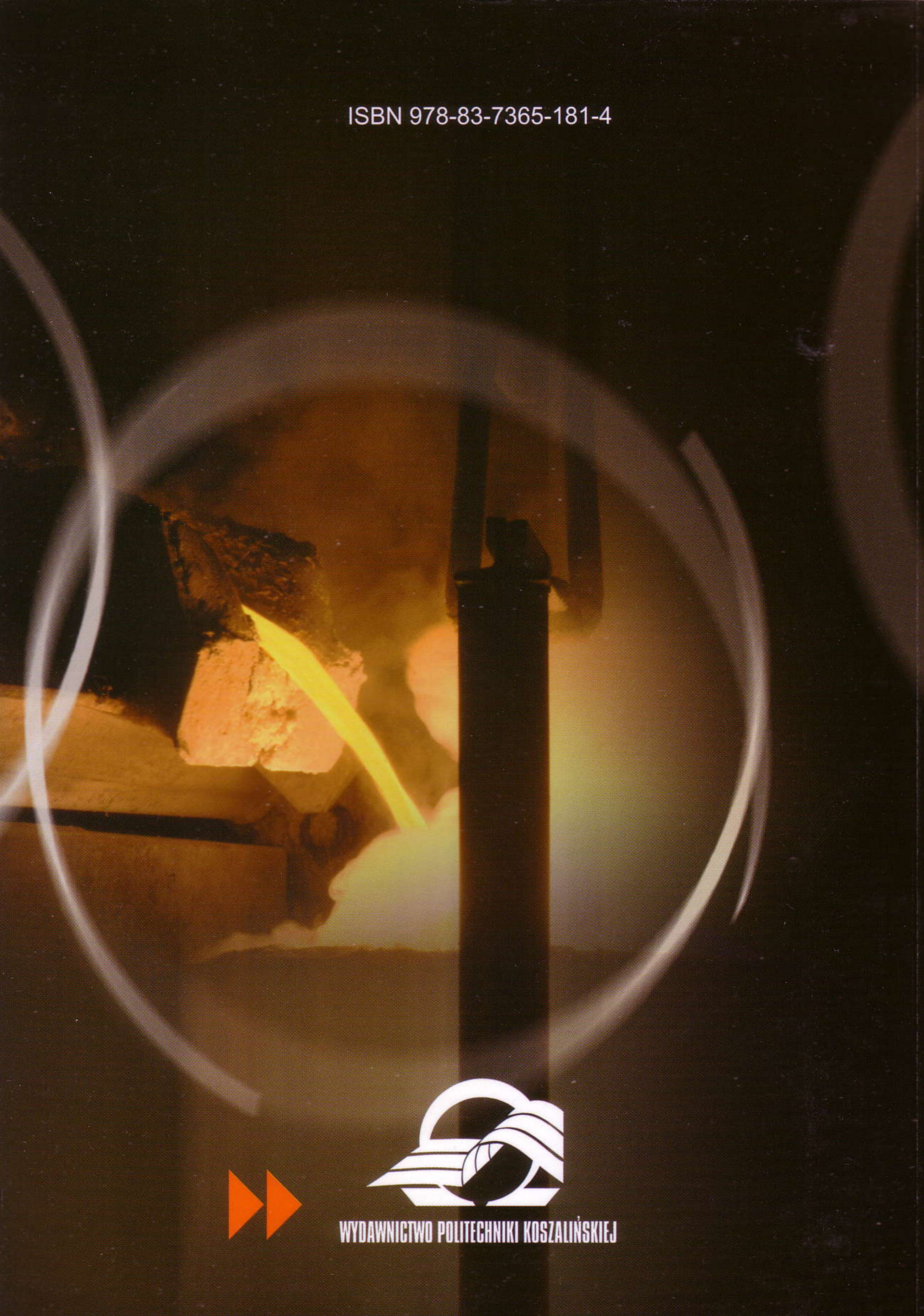
²⁾ W stanie przesyconym i starzonym.

³⁾ W stanie surowym (po odlaniu).

Wykaz przytoczonych norm

1. PN – EN ISO 1302:2002. Rysunek techniczny. Oznaczanie struktury geometrycznej powierzchni.
2. PN – EN 1560:2001 Odlewnictwo. System oznaczania żeliwa. Symbole i numery materiału.
3. PN – EN 1561:2000. Odlewnictwo. Żeliwo szare.
4. PN – EN 1562:2000/A1:2006. Odlewnictwo. Żeliwo ciągliwe.
5. PN – EN 1563:2000/A1:2004/A2:2006. Odlewnictwo. Żeliwo sferoidalne.
6. PN – EN 1706:2001. Aluminium i stopy aluminium. Odlewy. Skład chemiczny i własności mechaniczne.
7. PN – ISO 3755:1994. Staliwo węglowe konstrukcyjne ogólnego przeznaczenia.
8. PN – ISO 8062:1997. System tolerancji wymiarowych i naddatków na obróbkę skrawaniem.
9. PN – EN 10213:2008. Odlewy staliwne do pracy pod ciśnieniem.
10. PN – EN 10283:2002. Odlewy staliwne odporne na korozję.
11. PN – EN 12513:2003. Odlewnictwo. Żeliwo odporne na ścieranie.
12. PN – EN 12890:2002. Odlewnictwo. Modele, zespoły modelowe i rdzennice do wykonywania form oraz rdzeni piaskowych.

ISBN 978-83-7365-181-4



WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KOSZALIŃSKIEJ