

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: "Матеріалознавство та ливарне виробництво"

**ТЕХНОЛОГІЯ ЛИТТЯ
В МЕТАЛЕВІ ФОРМИ**

Методичні рекомендації
до лабораторних робіт
для студентів спеціальності
131 – "Прикладна механіка"
(для всіх форм навчання)

Кропивницький – 2025

Методичні рекомендації до лабораторних робіт з курсу “Технологія лиття в металеві форми” для студентів спеціальності 131 – "Прикладна механіка" (для всіх форм навчання) /Розроб. В.М. Ломакін – Кропивницький: ЦНТУ, 2025. – 54 с.

Рецензент: Горюк М.С. – к.т.н., ФТІМС НАН України

Укладач: Ломакін В.М. – к.т.н., доц. каф. МЛВ

Відповідальний за випуск: В.М. Ломакін

Затверджено на засіданні
кафедри матеріалознавства та
ливарного виробництва ЦНТУ
Протокол № 5 від 19.02.2025 р.

© Технологія лиття
в металеві форми
© В.М. Ломакін

ЗМІСТ

	стор.
Вказівки до виконання лабораторних робіт.....	4
Рекомендації до оформлення звіту.....	4
Лабораторна робота № 1. Дослідження процесів кокільного лиття	5
Лабораторна робота № 2. Лиття під керованим електромагнітним тиском з застосуванням нетверднучої розосередженої ливниково-живильної системи (РОЗЛИВ-ЛЕМТ-ПРОЦЕС).....	15
Лабораторна робота № 3. Дослідження впливу технологічних режимів на якість виливків при відцентровому литті	24
Лабораторна робота № 4. Дослідження впливу режимів лиття під тиском на якість виливків	30
Лабораторна робота № 5. Магнітодинамічні технології та обладнання для обробки і дозування ливарних сплавів в металеві форми	39
Список літератури	54

Вказівки до виконання лабораторних робіт

1. Студенти повинні бути підготовлені до лабораторної роботи. Теоретична підготовка перевіряється за допомогою тестів.
2. Перед початком виконання лабораторних робіт отримати інструктаж з техніки безпеки.
3. Не працювати на приладах, якщо не опанували досконально принцип їх роботи.
5. За пошкодження обладнання студенти несуть матеріальну відповідальність.
6. Після закінчення роботи студенти повинні прибрати своє робоче місце.

Рекомендації до оформлення звіту

1. Звіт з кожної роботи оформлюється у відповідності з установленою схемою для кожної лабораторної роботи: назва і мета роботи, експериментальні, розрахункові і табличні дані, графіки та висновки. Теоретичні відомості наводити коротко.
2. Оформлений звіт в кінці занять подається викладачеві для перевірки та підпису.

Лабораторна робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ КОКІЛЬНОГО ЛИТТЯ

(4 години)

Мета роботи – дослідити вплив технологічних факторів на якість виливків при литті в кокіль.

Завдання роботи:

1. Вивчити конструкцію кокільного верстата (рис. 1.1) і кокілів.
2. Скласти перелік операцій виготовлення виливків із алюмінієвого сплаву і сірого чавуну.
3. Призначити режими технологічного процесу, підготувати кокіль до роботи.
4. Встановити вплив температури і характеристик вогнетривкого покриття на якість виливків.

Матеріали та обладнання: плавальна піч з тиглем місткістю 20...50 кг; шихтової матеріали; кокілі різної конструкції; хромель-алюмелева термопара; набір плавильно-заливочного інструменту; кокільна фарба.

1.1. Загальні відомості

Кокілі (металеві форми) виготовляють із чавуну і сталі, в деяких випадках використовують кольорові метали. Чавунні форми отримують литтям з наступною механічною обробкою робочих поверхонь, сталеві – механічною обробкою кованих заготовок.

Внаслідок великої теплоакумуючої здатності кокілі забезпечують значно більшу швидкість охолодження, ніж піщані форми. Тому кокільні виливки більш щільні, мають більш мілкозернисту будову, що підвищує механічні властивості металу в порівнянні з литтям у піщано-глиняні форми.

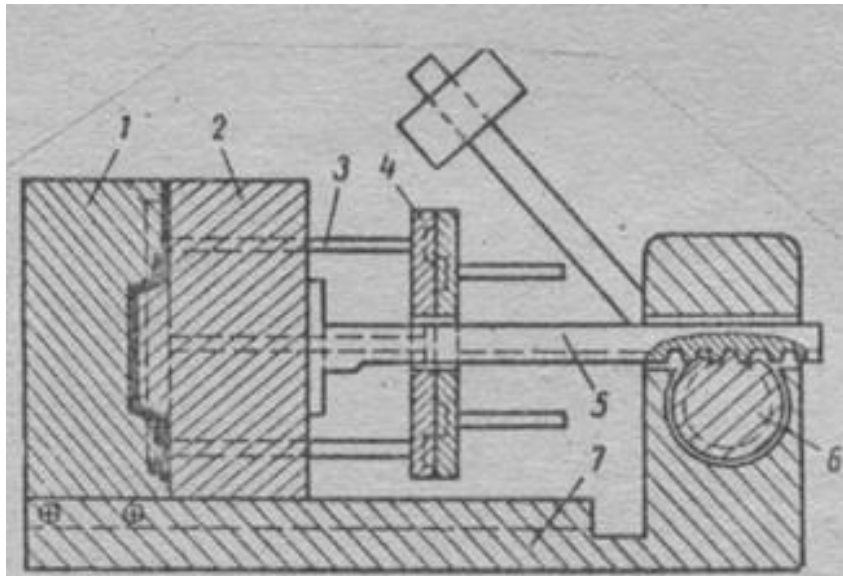


Рис. 1.1. Кокільний верстат

1 - нерухома напівформа; 2 - рухома напівформа, 3 - штовхачі;
4 - плита штовхачів; 5 - зубчата рейка; 6 - зубчатий валик; 7 – основа

Металеві форми сприяють отриманню виливків з кращою розмірною точністю і чистотою поверхні, що дозволяє на 40...50% знижувати припуски для механічної обробки. Можливість багаторазового використання кокілів, повна або майже повна ліквідація формувальних і стержневих сумішей дозволяє різко скоротити вантажопотоки, зменшити площі виробничих і складських приміщень, збільшити продуктивність праці і зменшити собівартість виливків. Лиття в кокіль легко піддається механізації автоматизації.

По конструктивним і технологічним особливостям металеві форми (рис. 1.2) бувають:

- а - нероз'ємні;
- б, в - з вертикальною або горизонтальною площиною роз'єму півформ;
- г - зі складною поверхнею роз'єму;
- д – стулкові.

Внутрішні порожнини у виливках виконуються стержнями: прості - металевими, складні - піщано-глиняними. Для видалення з виливка металевих стержнів передбачаються спеціальні механізми.

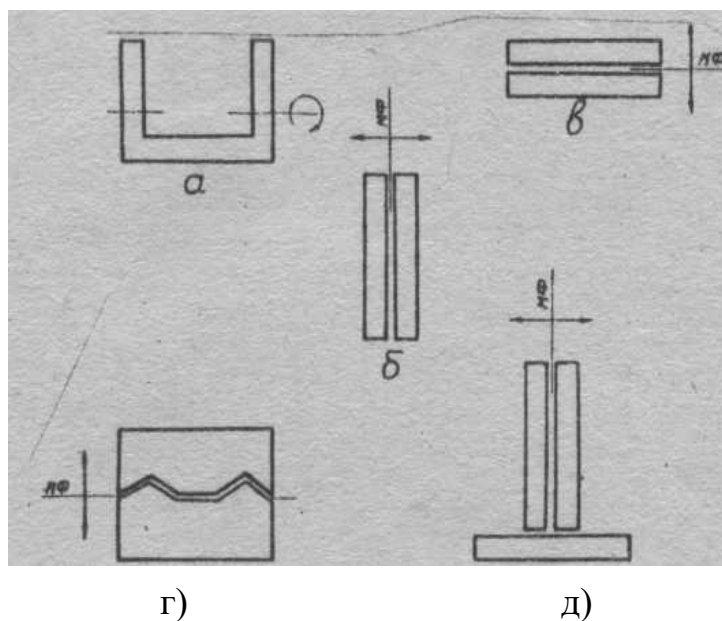


Рис. 1.2. Класифікація кокілів по конструктивним особливостям

Для підвищення терміну служби кокілів і зменшення усадкових напруг у виливках, кокілі перед заливкою нагрівають до температури 250,..400 °С, на робочу поверхню наноситься спеціальна антипригарна фарба. Склади фарб, які застосовуються в для виливків із алюмінієвих сплавів і чавуну, наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Фарби і облицювання для кокілів

Призначення	Компонент	Масова частка, %
Алюмінієві сплави		
Для виливків з підвищеною чистотою поверхні	Оксид цинку рідке скло вода	4...6 1,5...2,0 залишок до 100
Для місцевого утеплення кокілів	Оксид цинку азбест тальк прожарений рідке скло вода	3...5 6...7 1,0...1,5 3...4 залишок до 100
Для покриття поверхонь, які труться	Графіт колоїдний вода	5...10 залишок до 100
Чавун		
Облицювання кокіля для дрібних і середніх виливків	Маршаліт мідке скло вода	10...15 3...5 залишок до 100
Сажа ацетиленового полум'я	Сажа ацетиленового полум'я	100

Литвом в кокіль виготовляють виливки порівняно простої конфігурації масою до 50 кг без різких переходів від тонких перерізів до товстих із алюмінієвих, магнієвих сплавів, бронзи, чавуну і сталі.

1.2. Визначення товщини робочої стінки кокіля

Вибір матеріалу та товщини робочої стінки кокіля є одним з найбільш відповідальних етапів проектування, оскільки ці параметри конструкції визначають довговічність форми, стійкість проти тріщин на робочій поверхні і короблення, а також трудомісткість виготовлення.

По А. Й. Вейніку товщина стінки кокіля (X_3) визначається за формулою:

$$X_3 = \frac{K}{2} A \left(1 + \sqrt{1 + \frac{8}{A} \cdot \frac{\lambda_3}{\alpha_1}} \right), \quad (1.1)$$

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_2}{X_2} \quad (1.2)$$

$$A = \frac{3Q_1}{c_3 \rho_3 (T_{\text{зал}} - T_{\text{поч}})} \quad (1.3)$$

$$Q_1 = \rho_1 X_1 [C'_1 (T_{\text{зал}} - T_{\text{зал}}) + r_1] \quad (1.4)$$

де K - поправочний коефіцієнт (допустимо прийняти рівним 1);

C - питома теплоємність (індекс: 1 відноситься до виливка; 2 - до покриття (фарби); 3 - до робочої стінки кокіля; штрих зверху - до рідкого стану);

X_1 - половина товщини стінки плоского виливка;

X_2 - товщина шару фарби;

λ - коефіцієнт теплопровідності;

α_1 - коефіцієнт теплопередачі через шар фарби;

ρ - густина;

r_1 - питома теплота затвердіння сплаву;

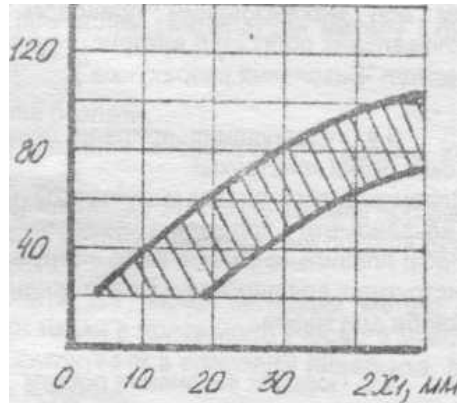
$T_{\text{зал}}$ і $T_{\text{зал}}$ - температури, відповідно, заливки сплаву і затвердіння виливка;

$T_{\text{поч}}$ - початкова температура кокіля.

Для чавунних деталей орієнтовна товщина стінки кокіля визначається за формулою:

$$X_3 = 11\sqrt{2X_1} \quad (1.5)$$

На практиці товщину X_3 робочих стінок кокіля різних конструкцій можна вибрати по графіку рис. 1.3 (а, б), що розроблений В.С. Серебро.



а). Графік для вибору товщини стінки плоских кокілів

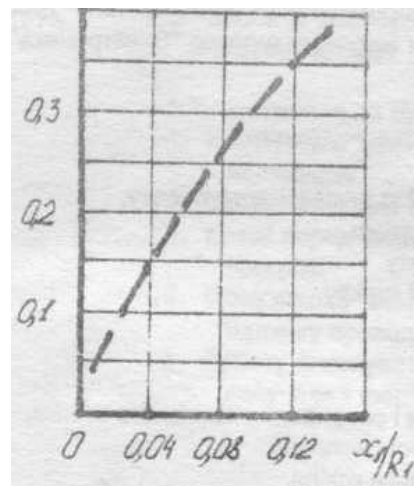


Рис. 1.3, б). Графік для вибору товщини стінки циліндричних кокілів

Товщину стінок плоских кокілів вибирають в межах заштрихованої області, але ближче до верхньої границі; для виливків складної конфігурації, які мають

близько розташовані виступи - ближче до нижньої границі.

Для стінок вилівка, що оформляються з одного боку піщаним стержнем, X_3 визначається як подвійна товщина вилівка.

Товщина X_3 для циліндричних кокілів при відливанні полів вилівоків розраховується за формулою:

$$X_3 = \frac{X_1}{R_1} \quad (1.6)$$

де X_1 - половина товщини стінки полого вилівка;

R_1 - зовнішній радіус вилівка;

Для суцільних циліндричних вилівоків:

$$X_3 = 1,4R_1 \quad (1.7)$$

Якщо конструкція циліндричного кокілю виключає можливість його термічного розширення вздовж продольної осі, X_3 приймають таким же як і для плоского кокілю (рис. 1.3, а).

Вибір може бути виконаний також у відповідності з ДСТУ і по рис. 1.3, б. Для кокілів зі сталевими робочими стінками з високоміцного чавуну товщину X_3 вибирають ближче до нижньої границі заштрихованої області графіка.

Товщину стінки кокіля можливо визначити також по графіку на рис. 1.4.

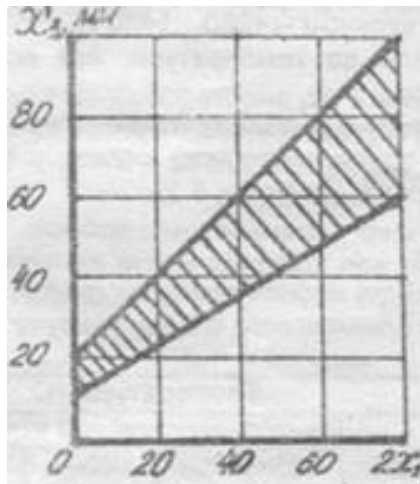


Рис. 1.4. Графік для вибору товщини стінки кокілю

Таким чином, товщина стінки кокіля, що визначена різними способами повинна знаходитися в близьких границях. При цьому необхідно враховувати і інтенсивність експлуатації кокіля.

1.3. Ливникові системи кокілів

Ливникові системи при литті в кокіль повинні забезпечити плавний безударний підвід металу в порожнину форми і видалення повітря та газів, а також виконання необхідних умов затвердіння виливка.

Площа поперечного перерізу елементів ливникової системи кокіля визначається із співвідношення:

- для виливків із алюмінієвих і магнієвих сплавів

$$F_{ст} : F_{л.х} : F_{ж} = 1 : 2 : 3 \quad (1.8)$$

- для виливків із чавуну

$$F_{\text{ст}}: F_{\text{л.х}}: F_{\text{ж}} = 1,25: 1,15: 1,0 \quad (1.9)$$

де $F_{\text{ст}}, F_{\text{л.х}}, F_{\text{ж}}$ - площа поперечного перерізу, відповідно: стояка, ливникового ходу, живильників (загальна на виливок, або на виливки в багатомісному кокілі).

Лімітуючою (самою вузькою) ланкою ливникової системи для виливків із кольорових сплавів (алюмінієвих, магнієвих) є площа перерізу стояка ($F_{\text{ст}}$), для виливків із чавуну – $F_{\text{ж}}$.

Розрахунки ливникових систем кокілів основанийі на використанні відомого в гідравліці виразу, що описує витікання рідини із отвору в ємності:

$$Q = \mu F \sqrt{2gH} \quad (1.10)$$

де Q - витрата, μ – коефіцієнт витрати, F - площа отвору, g – прискорення вільного падіння, H – напір.

1.4. Порядок виконання роботи

При виконанні роботи необхідно звернути увагу на встановлення впливу технологічних факторів – товщини вогнетривкого покриття, температури кокілю і температури заливки сплаву на якість виливків.

Для виготовлення виливків в даній роботі використовують кокілі з ручним або механізованим приводом переміщення його частин.

1. Провести контрольне збирання і розбирання кокільного верстата.
2. Виконати розрахунок ливникової системи кокіля.
3. Визначити товщину робочої стінки кокіля.
4. Вибрати склад вогнетривкої фарби для робочої порожнини кокіля і

- приготувати її.
5. Розплавити метал, перевірити його температуру; при заливці алюмінієвим сплавом температура повинна бути 720...750 °С, при заливці чавуном - 1380...1420 °С.
 6. Підігріти кокіль до температури, яка вказана в табл. 1.2, і нанести фарбу.
 7. Виконати заливку сплаву у форми при слідуючих температурних режимах (табл. 1.2).
 8. Порівняти структуру виливків, які отримані в піщано-глиняній формі і в кокілі.

Таблиця 1.2 – Температура кокіля і ливарного сплаву при заливці

Назва сплаву	Температура, °С						
	кокіля				сплаву		
Алюмінієвий сплав	200	250	300	350	650	700	750
Сірий чавун	200	300	400	500	1250	1300	1400

1.5. Зміст звіту

1. Ескіз і опис конструкції кокіля.
2. Описати підготовку кокіля до заливки (нагрівання, склад фарби і її нанесення).
3. Порівняти якість виливків, які одержані при різних температурах (визначається оглядом).
4. Висновок про вплив температури металу і форми на якість виливків.

1.6. Інструкція з техніки безпеки

1. Конструкція кокілів має забезпечувати щільне з'єднання півформ.
2. Кокілі і металеві стержні перед заливкою повинні бути нагрітими.
3. Перед заливкою металу в ківш обов'язково вимкнути піч.
4. Роботу виконувати в спецодязі.
5. Виливок вилучати з форми кліщами.

Запитання для самоконтролю

1. Призначення вогнетривких облицьовок і фарб для кокілів.
2. Основні операції технологічного процесу виготовлення виливків в кокілі.
3. Основні заходи з техніки безпеки при литті в кокіль.

Лабораторна робота №2

ЛИТТЯ ПІД КЕРОВАНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ТИСКОМ З ЗАСТОСУВАННЯМ НЕТВЕРДНУЧОЇ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ЛИВНИКОВО-ЖИВИЛЬНОЇ СИСТЕМИ (РОЗЛИВ-ЛЕМТ-ПРОЦЕС)

(4 години)

Мета роботи – вивчити технологію і обладнання для лиття під низьким електромагнітним тиском з застосуванням нетверднучої розосередженої ливниково-живильної системи (РОЗЛИВ-ЛЕМТ-процес); набути навички розрахунку показників техпроцесу.

Завдання роботи:

1. Вивчити сутність способу, конструкцію лабораторної установки (рис. 2.4) і кокілів.
2. Скласти перелік операцій для виготовлення виливків із алюмінієвого сплаву.
3. Призначити режими технологічного процесу, підготувати кокіль до роботи.
4. Встановити вплив температури і швидкості заливки на якість виливків.
5. Порівняти якість виливків, одержаних при різній швидкості заливки сплаву (зовнішній вигляд, структуру).

Матеріали та обладнання: плавальна піч з тиглем місткістю до 160 кг; шихтової матеріали; лабораторна установка; кокілі різної конструкції; хромель-алюмелева термопара; набір плавно-заливочного інструменту; фарба для кокіля.

2.1. Загальні відомості

Установка “РОЗЛИВ-ЛЕМТ” процес призначена для регульованої подачі алюмінієвих сплавів під низьким електромагнітним тиском, в тому числі, що мають

низьку рідкоплинність, по розосередженим живильникам в ливарну форму і витримки металу в процесі кристалізації під надлишковим тиском і додатковими вібраційними впливами (рис. 2.1).

Пристрій також забезпечує гомогенізацію хімічного складу сплаву і рівномірність температури по об'єму рідкометалевого сплаву (наприклад, для сплавів Al-Zn, схильних до розслоєння в рідкому стані) за рахунок вимушеної конвекції при індукційному нагріві і електромагнітному перемішуванні.

Технологія “РОЗЛИВ-ЛЕМТ” процесу застосовується при виробництві фасонних виливок із кольорових сплавів широкої номенклатури, що мають геометрію типу “кільце”, “рамка”, “стакан”, таких, наприклад, як вироби автотехніки (сепаратори підшипників, широка гама корпусних деталей в тому числі крупногабаритні по довжині і ширині), а також товарів народного споживання (сковороди, кришки і т.п.), рис. 2.2. і рис. 2.3.

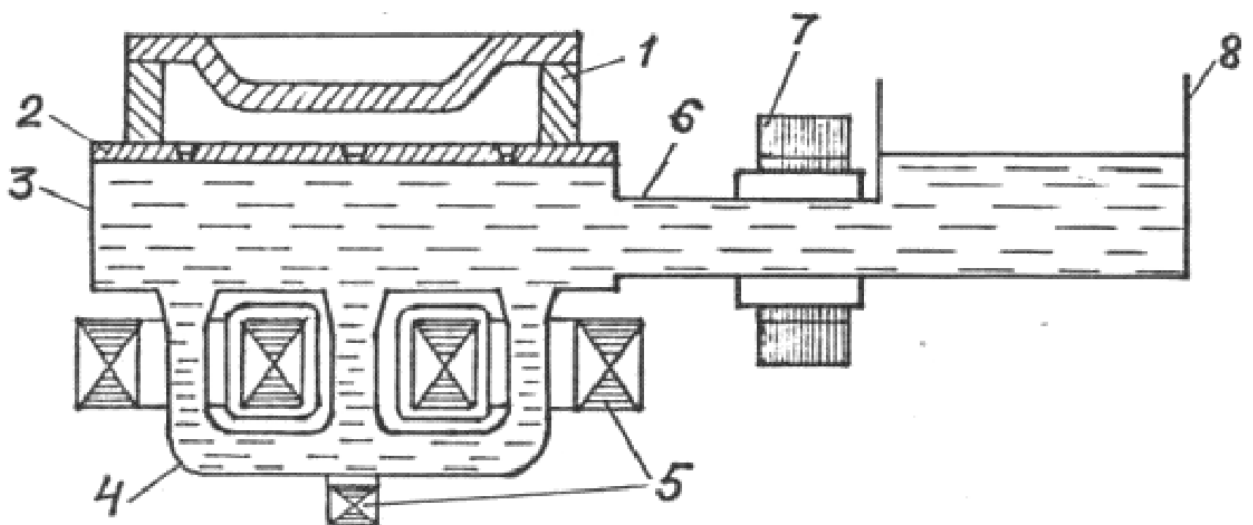


Рис. 2.1. Схема процесу “РОЗЛИВ-ЛЕМТ”

- 1 – кокіль; 2 – ливникова плита; 3 – заливочна камера;
- 4 – індукційний канал міксера;
- 5 – електромагнітні системи заливочної камери;
- 6 – горизонтальний індукційний канал;
- 7 – електромагнітні системи насоса;
- 8 – металоприймач, з’єднаний з електромагнітним насосом

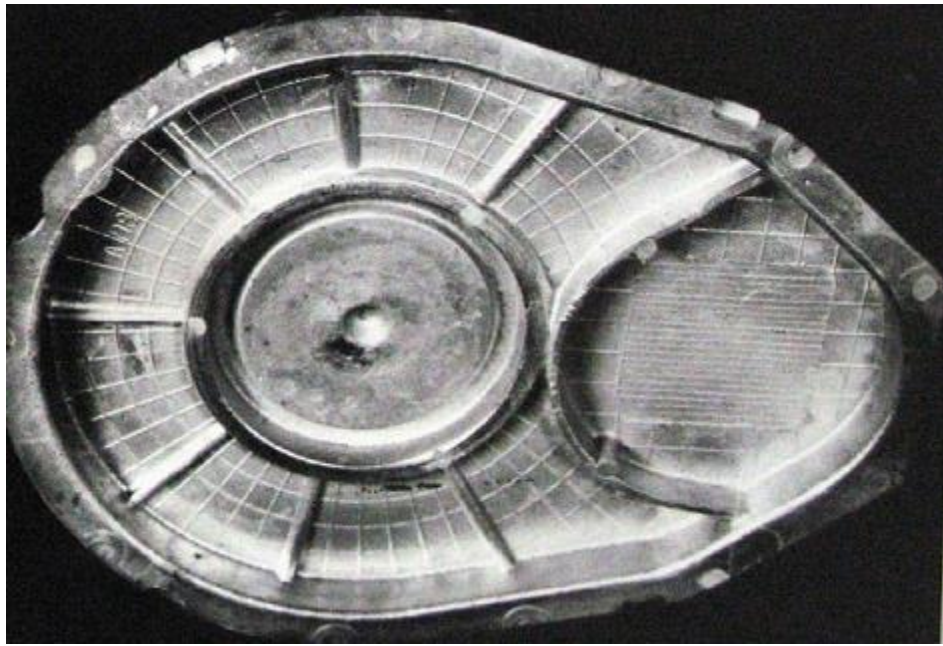


Рис. 2.2. Типовий виливок; “РОЗЛИВ-ЛЕМТ-процес”



Рис. 2.3. Виливок, одержаний з застосуванням нетверднучої розосередженої ливниково-живильної системи під низьким електромагнітним тиском

Установка “РОЗЛИВ-ЛЕМТ” (рис. 2.4) складається із двох розміщених поряд і з’єднаних між собою камер, в яких технологічна температура металу підтримується індукційними струмами, а електровихрові течії визивають вимушену конвекцію, що забезпечує рівномірність температури і хімічного складу алюмінієвого сплаву.

Одна із камер є розподільчою (заливочною), а друга виконує функцію металоприймача.

Ливарна форма встановлюється на заливочну камеру з ливниковими каналами, що представляють нетверднучу ливниково-живильну систему. Електромагнітний насос подає метал із металоприймача в заливочну камеру, а із неї в ливарну форму.

Тиск, створюваний електромагнітним насосом, змінюється у часі по заданому закону, виконання якого дозволяє заповнити форму без фонтанування, захвату повітря і з мінімальним гідравлічним ударом.

Після заповнення форми і утворення твердої кірки на поверхні виливки дається тиск підпресування, який підтримується до повного затвердіння виливків.

Технічна характеристика установки “РОЗЛИВ-ЛЕМТ”

Ємність установки	- 160, 400, 600, 1520 кг
Кількість форм	- 1 або 2
Максимальні розміри виливка	- 500 (1000) мм
Маса заливочної порції металу	- 0,5–50 кг
Максимальна витрата металу	- 3,0 кг/с
Масова годинна витрата розплаву	- 600 кг/год
Зусилля виштовхування виливка	- 320 кН
Коефіцієнт механізації	- 0,8
Живлення	- 380/220 В (50 Гц)

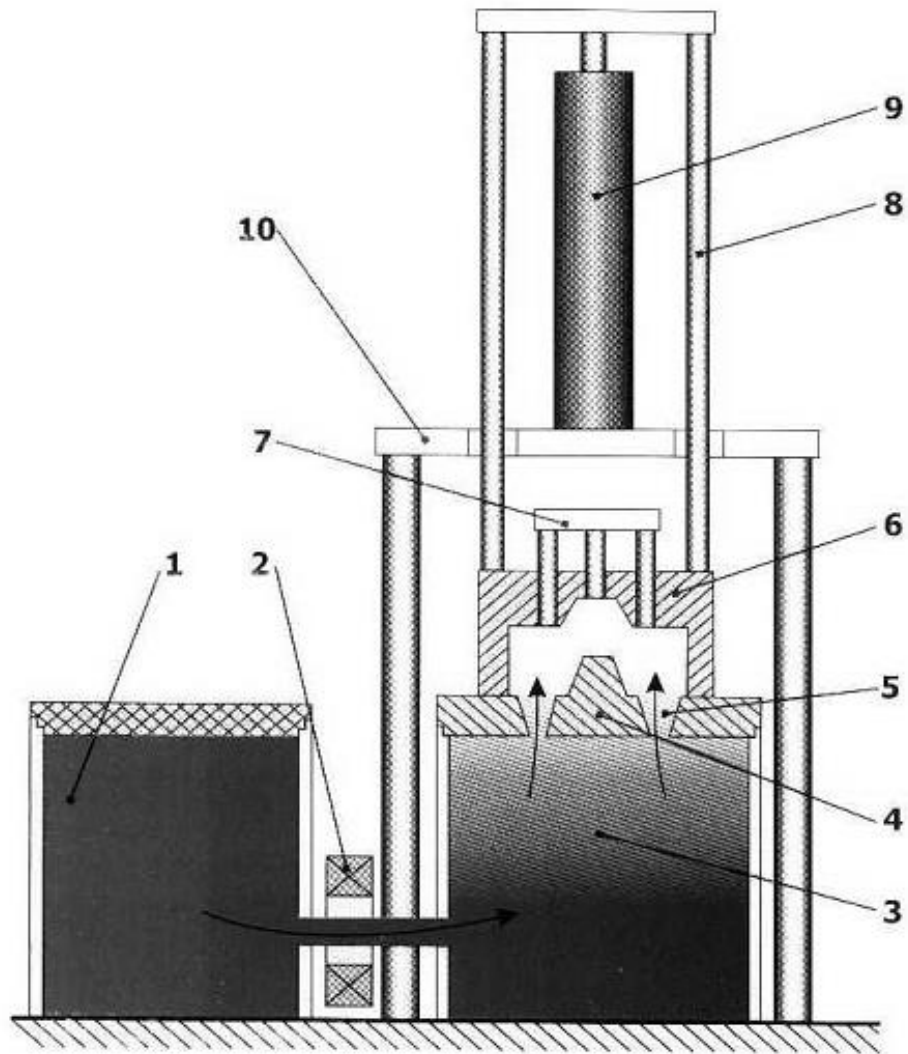


Рис. 2.4. Схема лабораторної установки “РОЗЛИВ-ЛЕМТ”

1 – металопріймач; 2 – електромагнітні системи; 3 – залівочна камера;
4 – ливникова плита; 5 – ливниково-живильні канали; 6 – верхня частина
форми; 7 – штовхачі; 8 – тяги; 9 – гідроциліндри; 10 – станина

Для виливків з максимальними габаритами 100×100 мм можливий спрощений варіант процесу “РОЗЛИВ-ЛЕМТ”, в якому відсутня друга камера (металопріймач).

Установка “РОЗЛИВ-ЛЕМТ” впроваджена на багатьох сучасних підприємствах, і не має принципових обмежень для збільшення габаритів виливків до 1000×1000×500 мм.

Новітню технологію можна успішно застосовувати для отримання виливків типу “кришка”, “головка блока циліндрів”, “блок циліндрів”. Номенклатура виливків, які економічно доцільно отримувати новим способом, може бути розширена.

Переваги технології “РОЗЛИВ-ЛЕМТ” з використанням розосередженої ливниково-живильної системи обумовлені мінімальною відстанню течії розплаву в порожнині форми і створенням умов, при яких у виливку відсутні зони з дефіцитом живлення виливки, що твердне, оскільки ливникова плита знаходиться в постійному контакті з рідким металом, як наслідок забезпечується високий коефіцієнт використання рідкого металу, який складає 90-98%, зниження браку по газо- усадковим дефектам і неметалевим домішкам в 3-5 раз, зменшення об’ємів обрубних операцій в 2-3 рази і економія електроенергії в розрахунку на одиницю продукції на 20-50%.

2.2. Порядок виконання роботи

1. Провести контрольне збирання і розбирання установки “РОЗЛИВ-ЛЕМТ”.
2. Виконати розрахунок ливникової системи кокіля.
3. Вибрати склад вогнетривкої фарби для робочої порожнини кокіля і приготувати її.
4. Розплавити метал, перевірити його температуру; при заливці алюмінієвим сплавом температура повинна бути 720...750 °С.
5. Підігріти кокіль до температури 200 С і нанести фарбу.
6. Виконати заливку сплаву у форми.

Згідно з варіантом завдання, виконати розрахунок в такій послідовності:

- 1 . Кількість теплоти Q , що виділяється в розплаві при електромагнітному впливі розраховується за законом Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \tau, \text{ Дж} \quad (2.1)$$

де I – сила електричного струму, А;

R – опір, Ом;

τ – час, с.

2. Час заливки кокілю $\tau_{зал}$ розраховується за формулою:

$$\tau_{зал} = A \cdot \delta^n \cdot M^m, \text{ с} \quad (2.2)$$

де A – коефіцієнт типу ливникової системи;

δ – товщина стінки виливка, м;

M – маса виливка, кг;

$n=1/3$ і $m=1/3$ – коефіцієнти.

3. Витрата при заповненні форми рідким металом W_δ розраховується за формулою:

$$W_p = \phi \cdot \frac{\Delta p}{\tau_{зал}}, \text{ кг/с} \quad (2.3)$$

де ϕ – коефіцієнт, що враховує гідравлічний опір системи;

Δp – тиск, створюваний електромагнітною силою; при литті кольорових сплавів становить 0,05–0,20 МПа.

4. Загальна площа ливників на один виливок $\sum F$ розраховується за формулою:

$$\sum F = \frac{W_p}{1,5 \cdot \rho}, \text{ м}^2 \quad (2.4)$$

де 1,5 – середнє (досліднє) значення швидкості заповнення кокілю, м/с;

ρ – густина розплаву, кг/м³.

5. Діаметр ливника розраховується за формулою:

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot \Sigma F}{3.14 \cdot k}}, \text{ м} \quad (2.5)$$

де k – прийнята кількість ливників на один вилівок, шт.

За результатами розрахунків оформити звіт. Обов'язкова наявність висновку.

2.3. Зміст звіту

1. Ескіз і опис конструкції установки і кокіля.
2. Описати підготовку кокіля до заливки (нагрівання, склад фарби і її нанесення).
3. Порівняти якість виливків, які одержані при різних температурах і швидкостях заливки (визначається оглядом).

2.4. Інструкція з техніки безпеки

1. Конструкція кокілів має забезпечувати щільне з'єднання напівформ.
2. Кокілі і металеві стержні перед заливкою повинні бути нагрітими.
3. Перед заливкою металу в ківш обов'язково вимкнути піч.
4. Роботу виконувати в спецодязі.
5. Вилівок вилучати з форми кліщами.

Запитання для самоконтролю

1. Для якого типу виливків доцільно застосовувати “РОЗЛИВ-ЛЕМТ-процес”?
2. Для яких ливарних сплавів доцільно застосовувати “РОЗЛИВ-ЛЕМТ-процес”?
3. Які є основні переваги “РОЗЛИВ-ЛЕМТ” процесу в порівнянні з технологією лиття під низьким тиском, який створюється газовою сумішшю?
4. Яким чином створюється електромагнітна сила, яка використовується для спрямування рідкого металу в живильні канали проміжної плити між ванною з розплавом і кокілем?
5. Від яких факторів залежить ефективність “РОЗЛИВ-ЛЕМТ” процесу?

Лабораторна робота №3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ НА ЯКІСТЬ ВИЛИВКІВ ПРИ ВІДЦЕНТРОВОМУ ЛИТТІ (4 години)

Мета роботи – дослідити вплив технологічних режимів частоти обертання форми, температури заливки, товщини облицювань і фарб на якість виливків.

Завдання роботи:

1. Вивчити сутність способу і основні технологічні операції відцентрового лиття, конструкцію лабораторної установки для відцентрового лиття.
2. Визначити частоту обертання форми для заданого виливка.
3. Обчислити гравітаційні коефіцієнти для кожного режиму обертання форми.
4. Порівняти якість виливків, одержаних при різній частоті обертання форми і різних температурах заливки сплаву (зовнішній вигляд, структуру).

Матеріали та обладнання: плавальна піч з тиглем місткістю до 160 кг; шихтової матеріали; установка з обертовою формою; хромель-алюмелева термопара; набір плавильно-заливочного інструменту.

3.1. Загальні відомості

Застосування відцентрової сили в процесі заповнення і кристалізації металу в порожнині ливарної форми є особливістю способу, який використовується переважно для виготовлення виливків, що являють собою тіла обертання (втулки, труби, шестерні і т.п), хоча можна виготовляти і фасонні виливки.

В ливарній формі, що обертається, під дією відцентрової сили рідкий метал притискається до внутрішньої поверхні форми і охолоджується (рис. 3.1).

Відцентрову силу визначають за формулою:

$$P = mr w^2 \quad (3.1)$$

де m - маса відливки, кг; r - радіус обертання довільної точки розплаву, см;

w - кутова швидкість обертання форми, рад/с.

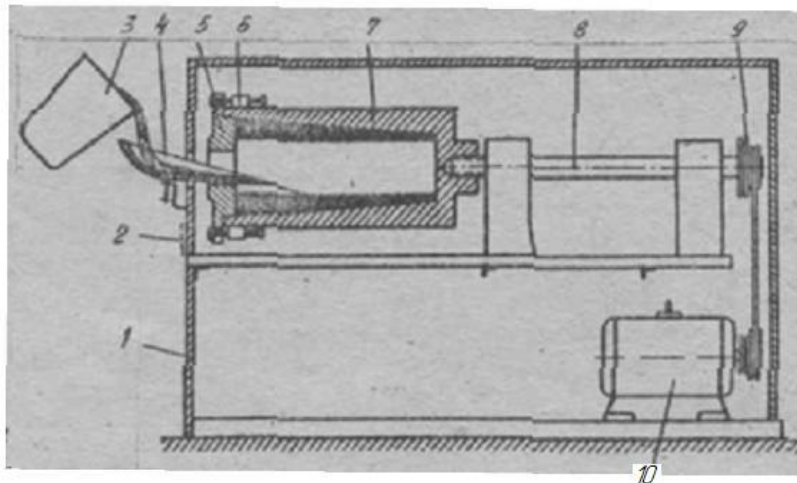


Рис 3.1. Схема лабораторної установки для відцентрового лиття

1 - корпус; 2 - дверці; 3 - тигель; 4 - жолоб; 5 - кришка, 6 - зажими;
7 - виливниця; 8 - вал, 9 - шків; 10 - двигун

Згідно принципу еквівалентності вплив відцентрової сили на будь-яку систему тотожний впливу сил тяжіння відповідної величини. Тому відцентрові сили, які діють на розплав можна замінити силами тяжіння рівної величини і того ж напрямку, а сам розплав розглядати як такий, в якому сила тяжіння направлена не вниз, а по нормалі до внутрішньої поверхні стінки форми. Величина цієї сили називається гравітаційним коефіцієнтом:

$$K = \frac{w^2 r}{g} \quad (3.2)$$

Під впливом відцентрової сили підсилюється розшарування розплаву (ліквація) на більш легкі і більш важкі шари, а спливання газів і легких неметалевих включень на вільну внутрішню поверхню відливки прискорюється. Рух важких неметалевих включень прискорюється, до зовнішньої сторони виливка. Це сприяє очищенню рідкого металу від шлаку, оксидів і газів.

Крім того, рух розплаву в формі, яка обертається в процесі кристалізації сприяє подрібнені структури виливка.

Для одержання виливків застосовуються установки з горизонтальною і вертикальною осями обертання (рис. 3.2. а, б).

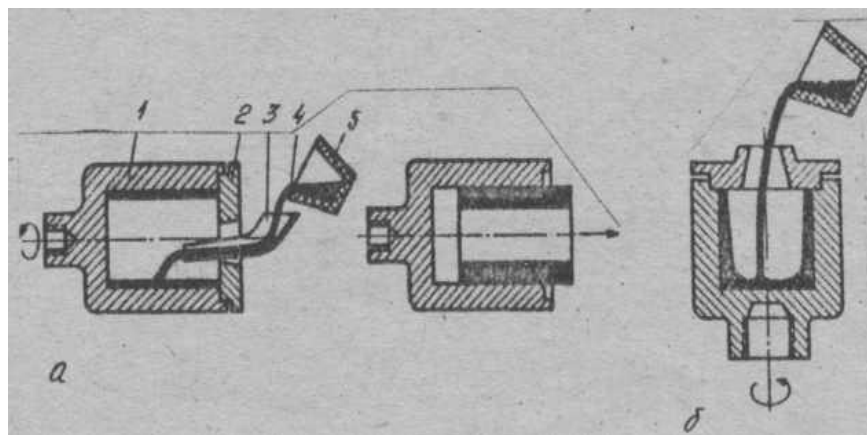


Рис. 3.2. Схема відцентрових установок з горизонтальною (а) і вертикальною (б) осями обертання
1 – форма, 2 – кришка, 3 – жолоб, 4 – метал, 5 - ківш.

Внутрішня поверхня розплаву при литті на машинах з вертикальною віссю обертання форми має вигляд параболоїда, тому одержують виливки різної товщини по висоті. На таких машинах виготовляються виливки, діаметр яких значно більше висоти (черв'ячні колеса, вінці, кільця).

Виготовлення виливків з довжиною, більшою діаметра (втулки, труби, вагонні осі), виконують на машинах з горизонтальною або з трохи нахиленою віссю обертання форми.

Якщо радіус зовнішньої стінки вилівка перевищує радіус внутрішньої не більш як в 2 рази ($R/r < 2$), застосовується формула Кеммена:

$$n = \frac{C}{\sqrt{R}} \quad (3.3)$$

де n - число обертів форми за хвилину; C - коефіцієнт, який залежить від типу сплаву, для сталі $C=1350$, для сірого чавуну і бронзи $C=1675$, для $C=2250$; R - радіус

зовнішньої стінки виливка. Можливо використовувати також формулу:

$$n = \frac{5520}{\sqrt{\rho r}}, \quad (3.4)$$

де ρ - щільність сплаву, г/см³; r - радіус внутрішньої поверхні виливка, см.

Для виливків з горизонтальною віссю обертання форми, коли тиск, який досягається сплавом, може привести до виникнення пригару або руйнування форми, наприклад, в піщаних формах, використовується формула:

$$n = 0,423 \sqrt{\frac{P}{\rho(R^2 - r^2)}}, \quad (3.5)$$

де P - допустимий тиск розплаву на форму, Па; R і r - відповідно зовнішній і внутрішній радіус виливка, м.

При виготовленні відливок у формах з вертикальною віссю обертання:

$$n = 0,423 \sqrt{\frac{h}{k(2r - k)}}, \quad (3.6)$$

де h - висота виливка, м; k - необхідна різниця в товщинах стінки виливка у верхній і нижній частині, м; r - внутрішній радіус виливка у верхній частині, м. Для запобігання пригару металу до форми на її робочу поверхню наносять шар кокільної вогнетривкої фарби.

3.2. Порядок виконання роботи

При виконанні роботи необхідно враховувати, що якість поверхні і макроструктура виливків залежать від числа обертів форми і температури заливки сплаву.

Для запобігання пригару металу відливки до форми необхідно

використовувати вогнетривкі покриття для кокільного лиття.

1. Вивчити керівництво до роботи і рекомендовану літературу.
2. Перевірити напрям обертання форми, який повинен бути проти різьби кріплення форми на валу машини.
3. Вибрати з формул (4.3 - 4.6) ту, яка підходить для визначення частоти обертання за вибраним технологічним процесом, і визначити частоту обертання шпинделя машини.
4. Розплавити алюмінієвий сплав або цинк і залити втулки (зовнішній діаметр - 80 мм, довжина 150 мм і товщина стінки - 10... 15 мм), по режимах табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Режими випробувань

Режим	Частота обертання, об/хв	Температура заливки, С					
		Алюмінієвий сплав			Цинк		
1.	n	670	750	850	400	500	550
2.	n+50%	670	750	850	400	500	550
3.	n-50%	670	750	850	400	500	550

Для запобігання викиду матеріалу із форми заливку необхідно виконувати з мірного ковша. Обертання форми припиняється через 2...2,5 хв після її заливки.

5. Виливки треба вилучати із форми після охолодження - алюмінієвих до температури нижче 300°C, цинкових - нижче 200°C.
6. Виготовити дві піщано-глинисті форми для відливки втулок вказаного розміру і залити їх при температурі 670 і 850 С.
7. Порівняти якість втулок, залитих відцентровим способом по трьох режимах (табл. 3.1)
8. Дослідити макроструктуру на поперечних шліфах виливків, залитих відцентровим способом і в піщану форму. Травлення шліфів проводити в

такій послідовності: алюмінієвих сплавів - розчином Келлера (25% HNO_3 , 15% HCl , 5% H_2O); цинку - 10...15% -м водним розчином HCl .

3.3. Зміст звіту

1. Опис установки відцентрового лиття, плавильної печі, технологічного процесу плавки.
2. Послідовність операцій при виготовленні заданого виливка.
3. Склад і технологічний процес нанесення покриття на форму.
4. Вибір і обґрунтування розрахункової формули і визначення частоти обертання форми.
5. Опис процесів розплавлення сплаву і заливки відцентрової і піщано-глинистої форми.
6. Зовнішній вигляд і макроструктура виливків в залежності від умов лиття.
7. Висновок про вплив способу лиття, температури заливки і частоти обертання форм на якість виливків.

3.4. Інструкція з техніки безпеки

1. Форма встановлена на відцентрову машину, повинна бути зрівноважена і при обертанні не повинна створювати вібрацій.
2. Електричні нагрівачі для підігріву форм повинні бути розраховані на напругу 12 В.
3. Перед заливкою форми рідким металом відцентрова машина повинна бути перевірена на холостому ході.
4. Перед заливкою форми необхідно встановити усі захисні кожухи.
5. Перед початком заливки ковші мають бути підігрітими.
6. Заливку форми треба виконувати в спецодязі, передбаченому інструкцією для робочих-заливальників.

Запитання для самоконтролю

1. Сутність процесу відцентрового лиття.
2. Що таке гравітаційний коефіцієнт? Його вплив на якість виливків.
3. Призначення антипригарних покриттів і їх вплив на якість виливків?
4. Основні заходи з техніки безпеки.

Лабораторна робота №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМІВ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ НА ЯКІСТЬ ВИЛИВКІВ

(4 години)

Мета роботи – дослідити і вивчити вплив технологічних режимів на якість виливків при литві під тиском на машині з холодною камерою пресування.

Завдання роботи:

1. Вивчити будову прес-форми.
2. Вилити зразки при різних режимах пресування і випробувати їх.
3. Вивчити структуру виливків.

Матеріали та обладнання: машина для лиття лід тиском; прес-форма для виготовлення зразків на розтягування; плавальна піч з тиглем місткістю до 50 кг; ківш розливочний; термopара ХА; переносний мілівольтметр; установка гідростатичного зважування зразків; ножівка, полотна ножовочні, рукавиці, захисні окуляри, папір шліфувальний.

4.1. Загальні відомості

Сутність процесу полягає в тому, що металева форма заповнюється розплавом під дією зовнішніх сил, а затвердіння виливка протікає під надлишковим тиском. Зовнішній тиск на сплав, що твердне і високі швидкості охолодження в металевій прес-формі сприяють подрібненню структури металу у виливку, зменшенню усадкових дефектів, підвищенню механічних властивостей.

Висока швидкість руху розплаву дозволяє покращити заповнюваність форми і одержувати точні тонкостінні виливки складної конфігурації з чистою поверхнею.

Литтям під тиском виготовляють виливки із цинкових, алюмінієвих, магнієвих і мідних сплавів масою від декількох грамів до декількох десятків кілограмів для приладобудування і машинобудування.

В машинах з холодною камерою пресування (рис. 4.1) розплав заливається в камеру пресування 1 під тиском поршня 2 через ливникову систему, яка складається: в машинах з вертикальною камерою пресування (рис. 4.1,а) з ливникового ходу 3, підвідного каналу 4, живильника 5; при литті на машинах з горизонтальною камерою пресування (рис. 4.1,б) - із підвідного каналу 4 та живильника 5.

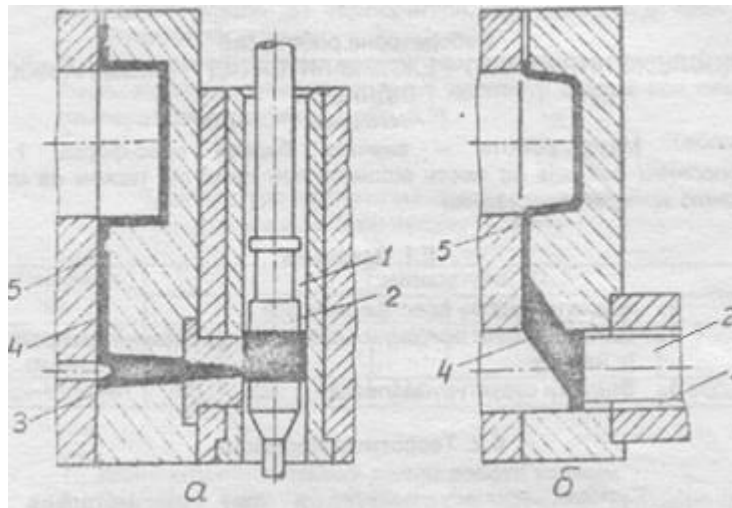


Рис. 4.1. Ливникові системи прес-форм при литті під тиском

Площа поперечного перерізу живильника для одного гнізда прес-форми визначається за формулою:

$$F_{\text{ж}} = 1,12 \left(\frac{Q}{K_1 K_2 K_3 K_4 \rho} \right), \quad (4.1)$$

де Q - маса виливка без ливникової системи, г; K_1 - коефіцієнт, який враховує складність конфігурації виливка; K_2 - коефіцієнт, який враховує вплив тиску; K_3, K_4

- коефіцієнти, які залежить, відповідно, від типу сплаву і від середньої товщини стінки виливка; ρ - щільність сплаву, г/см³. Переріз живильника виконують прямокутним.

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнтів K_1 для прес-форм

Характеристика виливка	Значення
Товстостінної простої конфігурації	0,75
Коробчастого перерізу	1,0
Складної конфігурації	1,5
Дуже складної конфігурації з тонкими ребрами товщиною до 0,8 мм	2,0

Площа поперечного перерізу підвідного каналу визначається за формулою:

$$F_{\text{п.к.}} = (1,2 \dots 1,5)F_{\text{ж}}, \quad (4.2)$$

ширина підвідного каналу визначається за формулою:

$$B_{\text{п.к.}} = (1,55 \dots 1,95)F_{\text{п.к.}}. \quad (4.3)$$

Переріз підвідного каналу виконують трапецевидним.

Таблиця 4.2 – Значення коефіцієнта K_2 при тиску МН/м²

Величина тиску	Значення
до 20	2,50
20...40	2,0
40...60	1,75
60...80	1,50
80...100	1,25
Вище 100	1,0

Значення коефіцієнта K_3 для сплавів: свинцево-олов'яного – 1,1; цинкового – 1,0; алюмінієвого – 0,9; магнієвого – 0,85; латунного – 0,75.

Таблиця 4.3 – Значення коефіцієнта K_4 при середній товщині стінки вилівка

Величина тиску	Значення
до 1	0,50
1...2	0,75
2...4	1,0
4...6	1,15
6...9	1,30
Вище 9	1,50

Прес-форми забезпечуються вентиляційною системою у вигляді щілин глибиною 0,05...0,3 мм і шириною 5...30 мм по роз'єму форми.

Машини для лиття під тиском характеризуються місткістю камери пресування, зусиллям пресування і зусиллям механізму, який запобігає розкриття прес-форми під час запресовки розплаву.

Діаметр камери пресування:

$$D_{\text{пр}} \geq 1,13 \sqrt{n P_n \frac{\sum f_n}{P_3}}, \quad (4.4)$$

де P_n, P_3 – зусилля, відповідно, пресування і запирання (по паспорту машини); $\sum f_n$ – сума площ проекції виливків і ливникової системи на площину роз'єму прес-форми; $n = 1.6-2.5$ – коефіцієнт, який залежить від швидкості пресування; зростає з підвищенням швидкості пресування.

Об'єм розплаву, який заливають в камеру пресування

$$v_M = v_B + v_{LC} + v_3, \quad (4.5)$$

де v_B - об'єм виливків в прес-формі; v_{LC} - об'єм ливникової системи; v_3 - об'єм прес-залишку.

Необхідне зусилля запирання визначається за формулою:

$$P_3 = \sum f_n P_{пр} + \frac{\sum f_n U_{пр} C_M \rho_M}{g} + C_p \rho L \frac{C_p \rho L}{g} (C_p \tau - L) 0,785 \frac{D_{пр}^2}{f_n}, \quad (4.6)$$

де C_M - швидкість звуку для мінеральних мастил, що застосовуються як робочі рідини, дорівнює 1000...1200 м/с; ρ_M - щільність робочої рідини; g - прискорення вільного падіння; C_p - швидкість звуку в рідкому алюмінієвому сплаві, дорівнює 5200 м/с; ρ - щільність розплаву, г/см³; $P_{пр}$ - питомий тиск пресування. кгс/см²; L - довжина виливка, см; f_n - площа проекції виливка на площину роз'єму прес-форми, см²; $\tau=0,001$ с - час перекриття потоку розплаву в живильнику; $U_{пр}$ - швидкість пресування.

$$U_{пр} = K_1 K_2 4 f_n \frac{U_0}{\pi D_{пр}^2}, \quad (4.7)$$

$U_0 = 15$ м/с - середня швидкість впуску розплаву в прес-форму в режимі турбулентного потоку.

Прес-форми для литва під тиском – точний і коштовний інструмент. При встановленні на машину прес-форму однією стороною із спеціально передбаченим отвором надівають на виступ ливникової втулки або камери пресування машини і болтами закріплюють її до нерухомої плити машини. Роз'єднання прес-форми виконується по поверхні роз'єму, точне з'єднання забезпечується штирями.

До формоутворюючих деталей прес-форми відносяться вкладиші матриць і пуансонів, вставки, ливникові втулки, нерухомі і рухомі стержні,

виштовхувачі і т.п. Ці деталі виготовляють із спеціально легованих сталей типу 3Х2В8Ф, 4ХВ2С, які підлягають складній обробці.

Ливникові втулки служать для з'єднання порожнини форми з камерою пресування машини.

Стержні служать для оформлення у виливку отворів, які не оформлюються вкладишем пуансона. Стержні розташовують у формі таким чином, щоб виливок залишився на пуансоні при розкритті форми. Стержні, які встановлюються перпендикулярно до площини роз'єму прес-форми і не заважають видаленню виливка із порожнини, закріплюють у прес-формі нерухомо.

Рухомі стержні призначені для утворення отворів в масивних або в дуже тонкостінних виливках, або у тих випадках, коли ці отвори розташовані в площині роз'єму прес-форми, а також під кутом до неї. Рухомі стержні виконують із збільшеною направляючою для покращання їх центрівки. Вони приводяться до руху механічними та гідравлічними приводами.

Особливістю лиття під тиском є утворення у виливках газо-усадкової пористості в результаті захвату металом пари та газів від змащення прес-форми і повітря, що знаходиться в порожнині форми і прес-камери. Для зменшення пористості у виливках при виборі технологічних режимів лиття під тиском прагнуть створити умови для видалення повітря із порожнини форми, вибрати змащення, яке має малу паро-газотворність.

На газо-усадкову пористість у виливках впливає розташування ливника, вентиляційних каналів і промивників, а також швидкість металу у формі, яка безпосередньо залежить від швидкості пресування.

В даній роботі для дослідження впливу швидкості пресування на якість виливків заливка проводиться при різних швидкостях прес-поршня.

При збільшенні швидкості пресування відбувається великий захват повітря і якість виливків погіршується.

На підставі даних про швидкість пресування, легко підрахувати швидкість потоку металу в момент випуску його у форму, користуючись рівнянням

гідродинаміки про безперервний потік:

$$f_i w_i = const, \quad (4.8)$$

де f_i - площа поперечного перерізу каналу; w_i – швидкість потоку в даному перерізі.

Тоді

$$F_{\text{пр}} w_{\text{п}} = f_{\text{вп}} w_{\text{вп}}, \quad (4.9)$$

звідки

$$w_{\text{вп}} = \frac{F_{\text{пр}} w_{\text{п}}}{f_{\text{вп}}}, \quad (4.10)$$

де $w_{\text{вп}}$ - швидкість впуску, тобто швидкість потоку металу в формі; $f_{\text{вп}}$ - площа поперечного перерізу впускного каналу (живильника); $w_{\text{п}}$ – швидкість поршня в момент впуску металу в прес-форму; $F_{\text{пр}}$ – площа поперечного перерізу поршня.

Крім швидкості, велике значення для формування якості виливків має тиск пресування і можливість передачі тиску на метал, що твердне. Це залежить від конструкції ливникової системи і роботи механізму пресування машини.

При проведенні даної роботи тиск пресування залишається постійним. Змінюючи склад фарб, температуру прес-форми, швидкість пресування, можна впливати на якість виливків. Склад змащення і температура прес-форми в момент пресування впливають на заповнюваність і стан поверхні виливка. При заданій конструкції ливникової і вентиляційної систем швидкість пресування визначає режим заповнення розплавом порожнини прес-форми (суцільний, ламінарний, суцільний турбулентний, дисперсний).

4.2. Порядок виконання роботи

При виконанні роботи необхідно звернути увагу на методику визначення параметрів машини для лиття під тиском в залежності від конфігурації і маси виливків, що виготовляються, об'єму камери пресування, діаметра пресуючого поршня, зусилля пресування, вибору конструкції прес-форми, розрахунку ливникової системи.

1. Вивчити керівництво до роботи і рекомендовану літературу.
2. При постійній температурі прес-форми і сплаву, різних швидкостях пресування виготовити зразки на машині лиття під тиском; кількість зразків повинна складати не менше 10 шт.
3. Випробувати зразки на розрив на спеціалізованій установці. Виготовити із зразків шліфи. Оцінити пористість зразків по шкалі.
4. Встановити взаємозв'язок режимів лиття і якості виливків.
5. Описати підготовку прес-форми до роботи.

Таблиця 4.3 – Характеристика машини лиття під тиском мод.71108
($F_{пр}=3850 \text{ мм}^2$, $f_{вп}=75 \text{ мм}^2$)

Швидкість поршня, м/с	Швидкість заливки, м/с
0,5	25,6
0,6	30,8
1,5	77,0
3,0	154,0

4.3. Зміст звіту

1. Опис установки для лиття під тиском, плавильної печі, технологічного процесу плавки.
2. Послідовність операцій при виготовленні заданого виливка.
3. Склад і технологічний процес нанесення покриття на форму.
4. Висновок про вплив режимів пресування на якість виливків.

4.4. Інструкція з техніки безпеки

1. Категорично забороняється пуск машини без учбового майстра або викладача.
2. Зони машини лиття під тиском, звідки можливий викид рідкого металу, повинні бути закриті щитами, особливо по місцю розему прес-форми. Працювати на машинах, які не мають щитів забороняється. При запресуванні металу не можна знаходитись біля площини розему прес-форми.
3. Забороняється завантажувати в тигель плавильної печі холодні ливники, відходи. Розливний ківш перед опусканням в розплавлений метал слід просушити і підігріти.
4. Під часу руху рухомої напіформи забороняється проводити будь-які роботи щодо очистки плунжера, обдувки та змащення прес-форми.
5. Корпус плавильної печі повинен бути заземлений.

Запитання для самоконтролю

1. Будова прес-форми для лиття під тиском.
2. Вплив швидкості пресування на якість виливків і міцність сплаву при розтягуванні.
3. Вплив змащення на якість поверхні виливків і міцність сплаву при розтягуванні.

Лабораторна робота № 5

ОСНОВИ МАГНІТОДИНАМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОБРОБКИ І ДОЗУВАННЯ ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ В МЕТАЛЕВІ ФОРМИ

(4 години)

Мета роботи – вивчити основи магнітодинамічних технологій і обладнання для рафінування і дозування ливарних алюмінієвих сплавів в металеві форми.

Завдання роботи:

1. Вивчити сутність способу, основні технологічні операції і конструкцію лабораторної установки для дозованої розливки алюмінієвого розплаву в кокілі.
2. Розплавити метал в печі, перелити його в МДН-насос і виконати дозування алюмінієвого розплаву в кокіль.
3. Виконати розрахунок основних характеристик магнітодинамічної установки.

Матеріали та обладнання: плавальна піч з тиглем місткістю до 160 кг; шихтової матеріали; МДН-насос, хромель-алюмелева термопара; набір плавильно-заливочного інструменту.

5.1. Загальні відомості

Магнітодинамічне обладнання являє собою розвиток конструкцій індукційних каналних печей і електромагнітних насосів, разом з тим унікальне і не має прямих аналогів в світі серед електротехнологічного обладнання того ж призначення. Конструкцію і принцип дії магнітодинамічних пристроїв можна розглянути на прикладі двох найбільш розповсюджених типів такого обладнання – магнітодинамічного насоса МДН-3 (рис. 5.1) і магнітодинамічної установки МДН-6 (рис. 5.2).

Магнітодинамічні насоси є пристроями, що забезпечують транспортування рідкого металу по закритим трубопроводам та компенсацію тепловтрат розплаву.

При подачі напруги на обмотки індуктора 3 і електромагніту 7 насоса МДН-3 (рис. 5.1) в робочій зоні 1 створюється електромагнітна сила F , що забезпечує рух рідкого металу з швидкістю v .

Електромагнітна сила F генерується відповідно до правила лівої руки (рис. 5.1) за рахунок взаємодії індуктуємого індуктором електричного струму I в рідкому металі, що знаходиться в індукційному каналі 2, з зовнішнім магнітним полем Φ , створюваним електромагнітною системою електромагніту 6, 7.

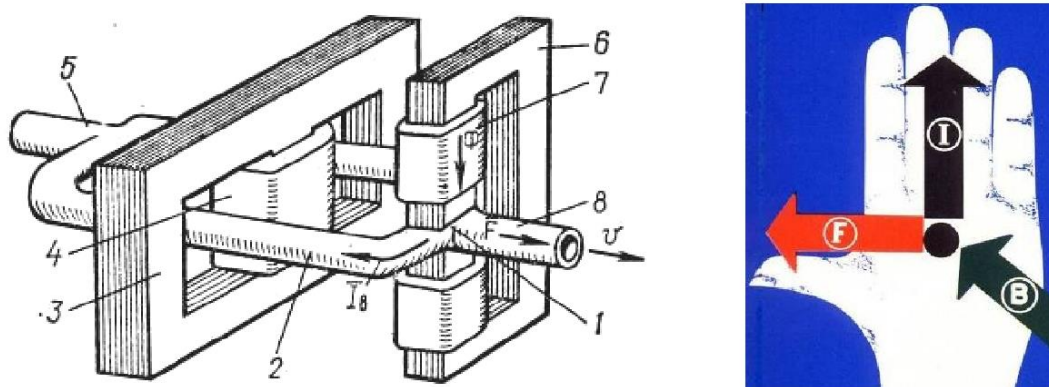


Рис. 5.1. Магнітодинамічний насос МДН-3 і створення електромагнітної сили в розплаві

1 - робоча зона (ділянка перетину каналів); 2 - індукційний канал; 3, 4 – відповідно, магнітопровід і обмотка індуктора; 5 - підвідний металопровід; 6, 7 – відповідно, магнітопровід і обмотка електромагніту; 8 - відвідний металопровід; I - електричний струм в індукційному каналі (витку рідкого металу); Φ - магнітний потік, створюваний електромагнітом; F - результуюча електромагнітна сила; v – швидкість руху металу під дією результуючої електромагнітної сили.

Магнітодинамічна установка МДН-6 (рис. 5.2) являє собою раздаточну каналну індукційну електропіч, поєднану з електромагнітним насосом.

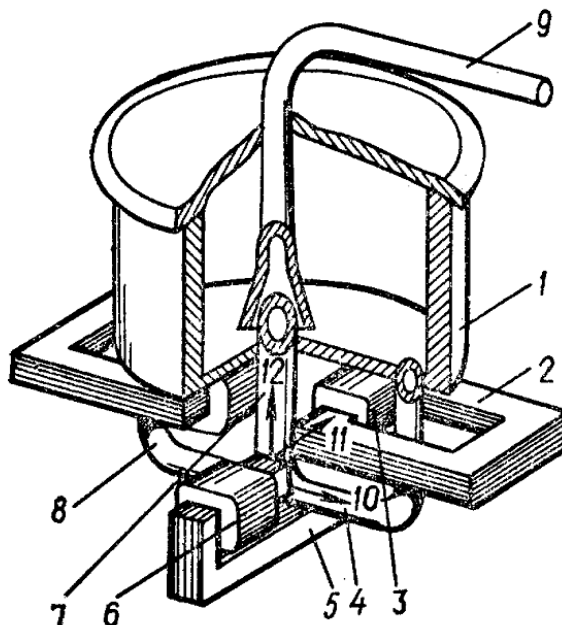


Рис. 5.2. Магнітодинамічна установка МДН-6 і принцип її роботи:

1 - тигель; 2 - магнітопровід індуктора; 3 - обмотка індуктора; 4 і 8 - бічні канали; 5 - магнітопровід електромагніту; 6 - обмотка електромагніту; 7 - центральний канал; 9 - зйомний металопровід; 10 - напрямок електричного струму; 11 - напрямок магнітного поля; 12 - напрямок електромагнітної сили

Тигель 1 установки сполучений з з'єднаними між собою центральним каналом 7 і бічними каналами 4 і 8. Канали 4 і 8 охоплені індукторами, що складаються з замкнутих магнітопроводів 2 з обмотками 3. Ділянка з'єднання каналів 4, 7, 8 називається «робочою зоною» і знаходиться в міжполюсному зазорі електромагніту, що представляє собою С-подібний розімкнутий магнітопровід 5 з обмотками 6. Центральний канал 7 сполучений зі зйомним металопроводом 9. Тигель 1 закривається кришкою. Роздільне управління електромагнітними системами дозволяє незалежно регулювати головні параметри процесу - масову швидкість при заливці і температуру металу. Електричний струм індуктується в розплаві відповідно до закону Ома:

$$j = \sigma(E + v \cdot B), \quad (5.1)$$

де j - щільність електричного струму в речовині, А/м; σ - електрична провідність середовища, См; E - напруженість електричного поля, В/м; v - швидкість руху речовини, м/с; B - індукція магнітного поля, Тл.

Нагрівання розплаву в магнітодинамічній установці відбувається згідно закону Джоуля-Ленца при проходженні через рідкий метал в каналах електричного струму, збудженого індукційним способом:

$$q = j(E + v \cdot B), \quad (5.2)$$

або

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \tau \quad (5.3)$$

де q і Q - тепловиділення в розплаві, Дж; I - електричний струм, А; R - опір, Ом; τ - час, с.

Ця особливість характерна для всіх індукційних пристроїв, проте принциповою відмінністю магнітодинамічних установок є наявність додаткової електромагнітної системи. Ця система створює в робочій зоні змінне магнітне поле, при взаємодії якого зі змінним електричним струмом, в каналі в розплаві виникає об'ємна однонаправлена пульсуюча електромагнітна сила.

Електромагнітний тиск, що розвивається в магнітодинамічних установках визначається так:

$$p = (j \cdot B) \cdot L \cdot \cos \alpha. \quad (5.4)$$

де L - довжина каналу, м; α - кут між фазами, град.

Під дією електромагнітної сили метал починає рухатися, причому характер, інтенсивність і напрямок переміщення розплаву залежать від параметрів включення індукторів і електромагніту установки. На практиці реалізується широкий діапазон руху металу: від різних режимів циркуляції в системі «канал -

тигель» установки до електромагнітного розливання металу з заданими температурними і витратними параметрами. Електромагнітні і МГД впливи на рідкий метал, які реалізуються в магнітодинамічних агрегатах, подібні до тих, які спостерігаються в звичайних індукційних каналних печах (ІКП), проте в МДУ вони більш контрольовані в порівнянні з традиційними ІКП і можуть бути посилені і використані в позитивному аспекті для силового впливу на рідкометалеві системи.

Параметри обробки рідких алюмінієвих сплавів в робочій зоні магнітодинамічної установки МДН-6А приведено у табл. 5.1. Залежно від напрямку індукційного струму в металі в каналі магнітодинамічного міксер-дозатора при різних варіантах включення індукторів і магнітного поля, яке генерується в робочій зоні електромагнітом, можуть бути реалізовані різні режими течії розплаву, обумовлені дією електромагнітних сил (рис. 5.3).

Таблиця 5.1. – Параметри обробки рідких алюмінієвих сплавів в робочій зоні магнітодинамічної установки МДН-6А

№ п/п	Параметр	Величина	Примітка
1	Розміри робочої зони (довжина, ширина, висота), м	0,2×0,1×0,03	Розташована у місці сполучення бокових і центральної гілок індукційного каналу
2	Густина електричного струму, А/м ²	до 20·10 ⁶	Збуджується індуктором
3	Індукція зовнішнього магнітного поля, Тл	до 0,3	Створюється електромагнітом
4	Об'ємна електромагнітна сила, Н/м ³	(20...60)·10 ⁵	Генерується при взаємодії електричного струму в каналі з зовнішнім магнітним полем
5	Електромагнітний тиск, Па	(2.5...3)·10 ⁴	Має пульсаційний характер
6	Швидкість руху розплаву, м/с	до 5	Обумовлена постійною складовою електромагнітного тиску
7	Вібрація розплаву, Гц	100	Обумовлена змінною складовою електромагнітного тиску

Таким чином, в магнітодинамічному міксері-дозаторі можна незалежно керувати тепловими і гідродинамічними факторами. Зокрема, температуру металу можна регулювати за рахунок зміни підведеної до індукторів потужності та інтенсивної примусової циркуляції розплаву через канал (основну зону тепловиділення).

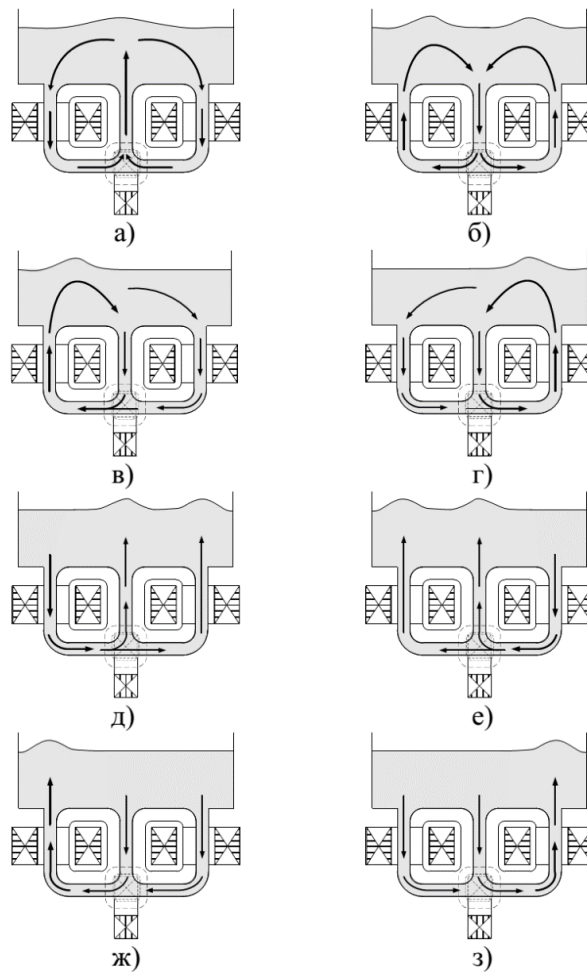


Рис. 5.3. Схеми циркуляції розплаву в магнітодинамічній установці МДН-6А:

- а) - режим нагнітання; б) - режим всмоктування; в), г) - режими бокового перемішування; (в) - створення затопленого струменя, що тече з лівої гілки каналу; г) - створення затопленого струменя, що тече з правої гілки каналу; д) - з) - комбіновані режими перемішування; (д) - нагнітання з боковим

перемішуванням; е) - режим дзеркально симетричний режиму д); ж) - всмоктування з боковим перемішуванням; з) - режим, дзеркально симетричний режиму ж).

Інтенсивність і напрям циркуляції розплаву в системі «канал-тигель-канал» можна змінювати за рахунок варіювання величиною і направленням електромагнітної сили. При цьому управління перемішуванням металевого розплаву в тиглі ініціюється затопленим струменем, що надходить з каналу.

Таким чином, основні функціональні можливості магнітодинамічних пристроїв, що відрізняють їх від інших ливарних електротехнологічних пристроїв, можуть бути сформульовані так:

- безконтактна малоінерційна передача енергії в рідкий метал за допомогою змінних електромагнітних полів, що спрощує управління тепловими, гідравлічними і масообмінними процесами в магнітодинамічних агрегатах, дозволяє виключити необхідність застосування газових середовищ і механічних пристроїв для перемішування металу;

- можливість проведення в одному агрегаті різних операцій позапічної обробки і розливки рідких металів і сплавів;

- широкодіапазонне управління процесами тепло- і масопереносу в рідкометалевій системі за рахунок незалежного регулювання індукційного нагріву і електромагнітного перемішування розплаву дає можливість прискорити до 3 разів процеси нагрівання металу, плавлення шихти, розчинення легуючих добавок, гомогенізації температури і хімічного складу сплавів, а також інтенсифікувати міжфазні взаємодії в системі «метал-реагент», здійснювати силові електромагнітні і магнітогідродинамічні (МГД) впливи на рідкий метал і включення в ньому;

- управління електромагнітним тиском, що розвивається в установці, дає можливість регулювати процеси електромагнітної дозованої розливки металу по герметичним трубопроводам, а також дозволяє створювати надлишковий тиск в гідравлічнозамкнених системах.

Іншою важливою операцією в технологічному циклі отримання високоякісних металів і сплавів є їх рафінування від газів і неметалвих включень. При цьому необхідно забезпечити інтенсифікацію міжфазних взаємодій в системі одно- або багатокomпонентний металевий розплав - рафінуючий реагент (газ, плазма, флюс, вакуум або їх комбінації), а також реалізувати потрібний температурний режим такої обробки.

5.2. Порядок виконання роботи

1. Провести контрольне збирання і розбирання МДН-насоса.
2. Розплавити метал, перевірити його температуру; при розливанні алюмінієвого сплаву температура має бути 720...730 °С.
3. Підігріти кокіль до температури 150-200 °С і нанести фарбу.
4. Виконати дозування сплаву у кокілі за двома різними режимами.

Згідно з варіантом завдання, виконати розрахунок в такій послідовності:

Вихідні дані:

1. Параметри установки

- 1.1. Потужність індукторів, кВт, не більше 360.
- 1.2. Потужність електромагніту, кВт, не більше 60.

2. Характеристика металу

- 2.1. Алюмінієвий сплав марки АК5М2 такого хімічного складу: Cu -1,5-3,5%, Zn - до 1,5%, Mg - 0,2-0,8%, Si - 4,0-6,0%, Mn - 0,2-0,8%, Fe - 1,0-1,3%, Ti - 0,05-0,20%.
- 2.2. Температура розливаемого алюмінію, К (град С), не більше 1003 К (730 °С).
- 2.3. Температура доливаемого алюмінію, К (град С), не менше 1053 К (780 °С).
- 2.4. Питомий електроопір при температурі розливки, Ом·м, $1,5 \cdot 10^{-6}$.

2.5. Глибина проникнення електромагнітної хвилі при $f=50$ Гц, 0,087.

2.6. Густина при температурі розливки, кг/м^3 , $2,70 \cdot 10^3$.

3. Характеристика системи електроживлення

3.1. Напруга живлення мережі, В, 380.

3.2. Частота струму, Гц, 50.

3.3. Параметри вторинної обмотки трансформаторів живлення (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. – Паспортні і розрахункові характеристики вторинної обмотки силового трансформатора АОЭС3-180/420

Ступені		1	2	3	4	5	6	7	8
Паспортні дані	$U_{\text{тр2}}, \text{В}$	420	380	349	322	272	221	171	112,5
	$I_{\text{тр2}}, \text{А}$	429	475	501	497	294	298	292	266
	$P, \text{кВт}$	180	180	175	160	80	66	50	30
Розрахункові після компенсації	$I_{\text{тр2}}, \text{А}$	505	459	420	386	327	266	208	138
	$P, \text{кВт}$	191	156	132	112	80	53	32	14

4. Система індуктування струму в рідкому металі. Індуктор складається з двох 0-подібних магнітопроводів, зєднаних разом і двох обмоток, які є первинними в системі індуктування струму. Вторинним витком є канал з рідким алюмінієм, який замикається навколо індуктора.

1. Розрахунок електричного опору системи "індуктор-виток рідкого металу".

- активний опір

$$R_{\text{в}} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{\frac{1}{\eta} \cdot f} \cdot \sum \frac{a_{xi}}{f_{xi}} \cdot F_{xi}, \quad (5.5)$$

- індуктивний опір

$$x_B = 8 \cdot 10^{-6} \cdot f \frac{\Delta S}{b_u} \cdot k_R \cdot k_S, \quad (5.6)$$

- повний опір

$$z_B = \sqrt{R_B^2 + x_B^2}, \quad (5.7)$$

де $\frac{1}{\eta}$ – питомий електричний опір алюмінію;

f – частота струму;

a_{xi} – довжина ділянки витка;

f_{xi} – розміри перерізу витка на ділянках;

F_{xi} – функція Бесселя для ділянок з різною геометрією;

ΔS – еквівалентна площа зазору, рівна сумі площ між обмоткою і витком, з урахуванням 1/3 площ обмотки індуктора і витка;

b_u – ширина магнітопровода;

k_R – коефіцієнт Роговського;

k_S – коефіцієнт, що враховує різницю висот витка і обмотки індуктора.

2. Потужність індуктора

$$P_u = U_u \cdot I_u, \text{ кВт} \quad (5.8)$$

3. Потужність електромагніту

$$P_e = U_e \cdot I_e, \text{ кВт} \quad (5.9)$$

4. Тепловий розрахунок.

Втрати тепла в установці виникають за рахунок теплопровідності і теплової конвекції. Теплові втрати визначаються за формулою:

$$Q = k \cdot S(T_M - T_B) = q \cdot S, \text{ кВт} \quad (5.10)$$

де S – площа поверхні, через яку відбувається теплопередача, м^2 ;

T_M – температура металу;

T_B – температура охолоджувача;

k – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$;

q – густина теплового потоку.

Коефіцієнт теплопередачі k розраховується за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{BH}}}, \quad (5.11)$$

де α_B – коефіцієнт тепловіддачі від нагрітої стінки в повітря, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$;

$\alpha_{вн}$ – коефіцієнт тепловіддачі від металу до внутрішньої стінки, Вт/(м²·град);

λ_i – коефіцієнт теплопровідності і-го шару футеровки, Вт/(м·град);

Δ_i – товщина і-го шару футеровки, м.

За результатами розрахунків оформити звіт. Обов'язкова наявність висновку.

5.3. Зміст звіту

1. Опис конструкції магнітодинамічного насоса.
2. Послідовність операцій при дозуванні алюмінієвого розплаву в кокіль.
3. Опис підготовки кокіля до дозованої заливки (нагрівання, склад фарби і її нанесення).
4. Висновок про вплив режиму заливки на якість виливків.

5.4. Інструкція з техніки безпеки

1. Конструкція кокілів має забезпечувати щільне з'єднання напівформ.
2. Кокілі і металеві стержні перед заливкою повинні бути нагрітими.
3. Дозуванням металу МДН-насосом виконувати в спецодязі.
4. Виливок вилучати з форми кліщами.

Запитання для самоконтролю

1. Для яких ливарних сплавів доцільно для рафінування і дозування застосовувати магнітодинамічну установку?
2. Завдяки чому в рідкому металі виникає електромагнітна сила в установці МДН-6А?
3. Назвіть основні можливі проблемні питання, які можуть виникнути при експлуатації установки МДН-6А.
4. Завдяки чому при застосуванні магнітодинамічних технологій і устаткування досягається висока ефективність рафінування ливарних сплавів?
5. В чому полягає конструктивна відмінність між індукційною каналною піччю і магнітодинамічним міксером-дозатором?
6. Дайте порівняльну характеристику матеріалів футеровки каналу магнітодинамічної установки в залежності від роду сплаву, що обробляється в ній.

Список літератури

1. Бондаренко В. Ф. Технологія ливарного виробництва: підручник для ВНЗ. – Київ: Либідь, 2007. – 328 с.
2. Скороход В. В., Чумаченко О. М. Основи технології машинобудування. Частина I: Ливарне виробництво. – Харків: ХНАДУ, 2011. – 160 с.
3. Савуляк І. П. Основи ливарного виробництва. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2006. – 252 с.
4. Пахаренко В.Л., Марчук М.М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво). – Рівне, 2009. – 182 с.
5. Григор'єв Є. І., Беспалий О. Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. – Київ: Каравела, 2013. – 372 с.
6. Кулик М. М., Жукова І. Г. Технологія машинобудування. Частина 1. – Тернопіль: ТНТУ, 2015. – 216 с.
7. Літовченко П.І., Іванова Л.П. Технологія конструкційних матеріалів. Навчальний посібник. – Х. : НАНГУ, 2016. – 306 с.
8. Хричиков В.Е., Меньяло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. Видання друге, доопрацьоване. Дніпро: НМетАУ, 2015. – 89 с.

Навчально-методичне видання

Прикладна механіка

**ТЕХНОЛОГІЯ ЛИТТЯ
В МЕТАЛЕВІ ФОРМИ**

Методичні рекомендації

до лабораторних робіт
для студентів спеціальності
131 – "Прикладна механіка"
(для всіх форм навчання)

Укладач: В.М. Ломакін, к.т.н., доцент

Здано до тиражування _____. Підписано до друку _____.

Формат 60x84 1/16(A5). Папір газетний. Ум. друк. арк. 3,0. Тираж 50 прим. Зам.
№ ____/2025 р.

ЦНТУ, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8.

Тел.: 39-04-55