

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний університет «Запорізька політехніка»**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до лабораторних робіт з дисциплін  
**“Обладнання спеціальних видів лиття”** і  
**“Обладнання спеціальних методів лиття”**  
для студентів спеціальностей  
G9 Прикладна механіка і G10 Металургія  
усіх форм навчання

**2024**

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін “Обладнання спеціальних видів лиття” і “Обладнання спеціальних методів лиття” для студентів спеціальностей G9 Прикладна механіка і G10 Металургія усіх форм навчання / Укладачі: В.В. Кудін, Є.М. Парахневич, А.В. Пархоменко. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. 50 с.

Укладачі: В.В. Кудін, канд. техн. наук, доцент  
Є.М. Парахневич, канд. техн. наук, доцент  
А.В. Пархоменко, канд. техн. наук, доцент

Рецензент: В.М. Сажнів, . . . ,

Відповідальний за випуск: В.Г. Іванов, зав. каф., докт. техн. наук, доцент

**Затверджено**  
на засіданні кафедри  
“Машини і технологія  
ливарного виробництва”

**Рекомендовано**  
до видання НМК  
Інженерно-фізичного факультету  
НУ «Запорізька політехніка»

Протокол № 1 від 15.08.2024 р.

Протокол № 1 від 10.09.2024 р.

**ЗМІСТ**

1 Лабораторна робота № 1. Визначення напружень в гідроциліндрі механізму запирання кокільної машини.....	4
2 Лабораторна робота № 2. Визначення силових і технологічних характеристик машини лиття під тиском.....	15
3 Лабораторна робота № 3. Визначення параметрів механізму запирання машини лиття під тиском.....	26
4 Лабораторна робота № 4. Визначення параметрів відцентрової машини.....	39
Додаток А. Технічні характеристики машин лиття під тиском з горизонтальною холодною камерою пресування EN 869: 2016.....	49
Додаток Б. Характеристики ланок важільного механізму запирання і колон машин лиття під тиском з горизонтальною холодною камерою пресування EN 869: 2016 .....	50

## Лабораторна робота № 1

### ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ В ГІДРОЦИЛІНДРІ МЕХАНІЗМА ЗАПИРАННЯ КОКІЛЬНОЇ МАШИНИ

**Мета роботи** – визначити напруження які виникають в гідроциліндрі механізму запирання кокільної машини, а також розрахувати шток гідроциліндра на стійкість.

Час виконання роботи – 4 години.

#### Загальні відомості

Кокільне лиття – це технологічний процес виготовлення виливків вільним (під дією сил ваги) заливанням рідкого металу в постійні металеві форми багаторазового використання – кокілі, металеві частини яких утворюють конфігурацію та властивості виливків. Цим способом виготовляють різноманітні по конфігурації та призначенню вилівки вагою від декількох грамів і до 14 тон із чавуну, сталі та кольорових сплавів (алюмінієвих, магнієвих та мідних).

Лиття в кокіль, у порівнянні з отриманням виливків в разових піщаних формах, має безперечні достоїнства і економічні переваги. Головні з них відносяться до ефективності процесу лиття і якості виливків. Підвищується продуктивність праці і знижується собівартість виливків за рахунок багаторазового використання кокілів та відсутності формувальних матеріалів. Покращується структура металу, підвищуються точність, чистота поверхні, щільність та фізико-механічні властивості виливків завдяки прискореному охолодженню металу, а також зменшуються припуски на механічну обробку і відсоток браку.

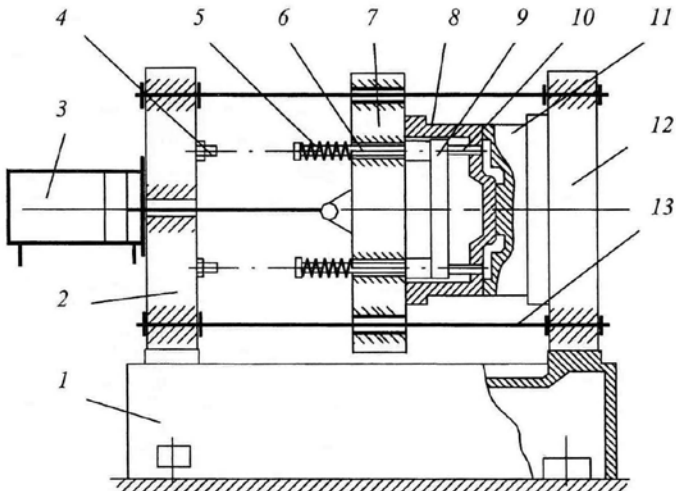
Металева форма при кокільному литті називається кокілем і має, в порівнянні з піщаною формою, практично нульові газопроникність, газотворення та податливість. Конструкції кокілів різноманітні і залежать від конфігурації і матеріалу вилівки, її ливниково-живильної системи, характеру виробництва, умов експлуатації та інше. Кокільні форми можуть бути одно- і багатомісцеві, мати піщані або металеві стержні та різну кількість поверхонь роз'єму. Класифікуються кокілі в залежності від розташування поверхні роз'єму: нероз'ємні (внутрушні); з вертикальною площиною роз'єму; з горизонтальною площиною роз'єму; з комбінованою (складною) площиною роз'єму [1, 2].

Весь процес виготовлення вилівки гравітаційною заливкою в постійну металеву форму реалізується на одній машині, яка називається кокільною машиною. Основні функції машини – збирання форми, підтримка її в замкненому стані при заливці та твердінні вилівки, розбирання форми і виштовхування вилівки.

Підготовка форми під заливку і регулювання температури кокілю здійснюються, як правило, спеціальними комплектуючими механізмами, але іноді можуть виконуватися самою машиною. Заливка форм в функції машини не входить і здійснюється спеціальними заливальними установками або вручну.

Конструкція кокільної машини залежить від типу форми, кількості її поверхонь роз'єму, а також типу вилівоків та їх матеріалів. Класифікація кокільних машин наведена в табл. 1.1 [3].

На рис. 1.1 приведена кінематична схема кокільної машини, яка відображає функціональне призначення основних її елементів. Станина 1, нерухомі плити 2 і 12 та спрямовуючі 13 утворюють несучу конструкцію, яка сприймає всі навантаження при роботі її механізмів.



- 1 – станина; 2 – нерухома плита; 3 – гідроциліндр механізму запирання;  
 4 – упори; 5 – пружини; 6 – штанги; 7 – рухома плита;  
 8 – рухома половина кокілю; 9 – плита виштовхувачів; 10 – виштовхувачі;  
 11 – нерухома половина кокілю; 12 – нерухома плита; 13 – спрямовуючі.

Рисунок 1.1 – Кінематична схема кокільної машини

Рухома 7 і нерухома 12 плити, які називаються підкокільними або плитами-формоутримувачами, служать для кріплення половин кокілю 8 та 11, а гідроциліндр 3 реалізує рухи, необхідні для збирання і розбирання кокілю та виштовхування виливки. Штанги 6 з пружинами 5, плита виштовхувачів 9 і виштовхувачі 10 утворюють систему виштовхування виливки із рухомої половини кокілю 8.

Підрив кокілю і виштовхування виливки із його рухомої половини здійснюється одним гідроциліндром 3. При розкритті кокілю вилка залишається в рухомій половині кокілю. В кінці ходу штанги з пружинами 5 наїжджають на регульовані упори 4 і зупиняють плиту виштовхувачів 9. Рухома половина кокілю 8 разом з плитою 7 продовжує рух і вилка виштовхується із рухомої половини кокілю.

Пружини 5 забезпечують повернення виштовхувачів в робоче положення при закриванні кокілю. Іноді в подібних машинах використовуються упори 4, що відводяться при повністю розкритому кокілі. Пружини 5 в цьому випадку повертають виштовхувачі 10 в робоче положення при розкритому кокілі, що дає можливість проводити фарбування кокілю.

До швидкісного режиму роботи механізмів кокільних машин особливих вимог не пред'являється. Важливо лише забезпечити плавне зіткнення елементів кокілю (особливо при використанні піщаних стержнів) і плавну їх зупинку при поверненні в початкове положення.

Визначальним для механізмів кокільних машин є силовий режим роботи. Сили, які повинні розвивати механізми машини в різний час її роботи, суттєво різні. Можна виділити 4 періоди роботи механізма кокільної машини (рис. 1.2).

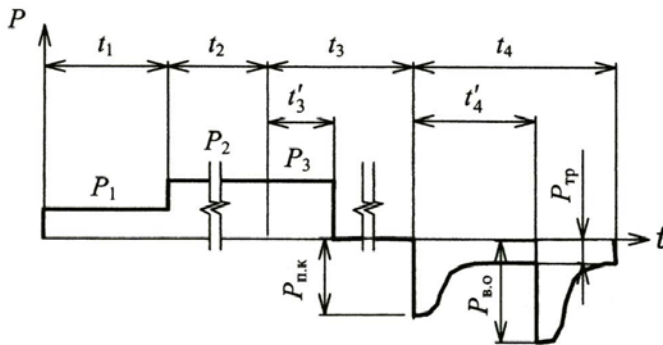


Рисунок 1.2 – Силовий режим роботи механізма кокільної машини

1 Збирання кокілю (період  $t_1$ ). Механізм повинен розвивати відносно невелику силу  $P_1$  обумовлену силами тертя  $P_{тр}$  при русі рухомої плити по спрямовуючим машини  $P_1 = P_{тр}$ .

Треба мати на увазі, що спочатку руху необхідна сила суттєво більше внаслідок відмінності коефіцієнтів тертя спокою і руху.

2 Заливка кокілю (період  $t_2$ ). Необхідна для утримання кокілю в замкненому стані сила  $P_2$  визначається тиском металу в формі в кінці заливки

$$P_2 = k_d \int_F p_m \cdot dF, \quad (1.1)$$

де  $F$  – площа проєкції виливки на площину роз'єму кокілю;

$p_m$  – гідростатичний тиск металу в формі;

$k_d$  – коефіцієнт, що враховує "динамічний поштовх" тиску металу в формі в кінці заливки ( $k_d = 1,5 \div 2,0$ ).

3 Твердіння виливки (період  $t_3$ ). Сила, необхідна для утримання кокільної форми в замкненому стані протягом часу  $t'_3$  до досягнення виливком міцності, достатньої для збереження її конфігурації, звичайно береться  $P_3 = P_2$ .

При твердінні та охолодженні виливки можливо поява значних сил, що прагнуть розкрити кокіль. Це викликано передусадковим розширенням матеріалу виливки та її конфігурацією.

Часто кокіль "розвантажують" (знімають силу  $P_3$ ) після закінчення часу  $t'_3$  або підривають стержні.

4 Розбирання кокілю (період  $t_4$ ). В цьому періоді відбувається підрив кокілю і виштовхування виливки, причому сили  $P_{п.к}$  і  $P_{в.о}$  набагато перевищують силу переміщення рухомої плити  $P_{тр}$ .

Технологічно необхідні сили (характеристики навантажень) в цьому періоді є визначальними для формування робочих характеристик механізмів кокільних машин.

## Методика проведення розрахунків

Методика розрахунків машин ливарного виробництва залежить від типу машин. Розрахунки поділяються на технологічні та конструкторські розробки. Метою конструкторського розрахунку механізму є визначення усіх сил, діючих на вузол, які виникають в деталі при досягненні нею технологічних параметрів (швидкості, зусилля та інше).

Розрахунок деталі на міцність проводять або проектувальний (уточнюються розміри деталі, або граничні навантаження), або перевірочний (визначаються напруження, що з'являються в деталі при повному навантаженні і порівнюються з допустимими). Є декілька методів вибору допустимих напружень. Для конструкційних сталей загального призначення допустимі напруження  $[\sigma]$  вибираються з урахуванням виду навантажень (розтягування, згинання, крутіння) і категорії навантажень (статичні, пульсуючі, або симетричні, які змінюються по знаку і величині).

Конструкторські розрахунки проводять по наступній методиці.

1 Вибирають найбільш навантажений вузол або деталь.

2 Складають розрахункову схему. Ця схема являє собою спрощене зображення деталі, яке за своєю геометрією, умовами закріплення і навантаження достатньо повно відображає реальну конструкцію. По прийнятим припущенням реальну конфігурацію деталі замінюють однією з геометричних форм: брусом, пластиною або оболонкою.

3 Обчислюють розрахункові навантаження з урахуванням їх категорії.

4 Обчислюють найбільші напруження, що з'являються в деталі і порівнюють їх з допустимими.

## Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи студент самостійно вивчає матеріал стосовно питань конструкцій, принципу дії та роботи кокільних машин за літературою [1, с. 328-357; 2 с. 186-230; 3, с. 18-65].

Студент проглядає конспект лекцій з даної дисципліни по темі лабораторної роботи.

В зошиті для лабораторних робіт оформлюється теоретична частина роботи з обов'язковим наведенням всіх рисунків.

## Порядок виконання лабораторної роботи

В кокільній машині притискання рухомої половини кокілю до нерухомої здійснюється за рахунок зусилля гідроциліндра механізму запирання з робочим тиском  $P_p$  та критичним тиском  $P_{кр}$  (тиск, коли спрацюває клапан безпеки).

Діаметр поршня  $D_{порш}$  гідроциліндра і робочий тиск  $P_p$  визначаються з табл. 1.1. Корпус гідроциліндра виготовлений із сталі 40Х з товщиною стінки  $\delta = 0,018$  м. Шток гідроциліндра виготовлений із сталі 12ХН3А, діаметр штоку дорівнює  $d_{шт} = 0,48 \cdot D_{порш}$ . Хід штоку складає  $l_{шт} = 0,5$  м (рис. 1.3).

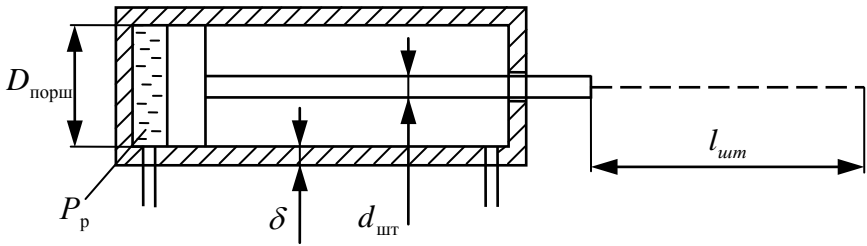


Рисунок 1.3 – Схема гідроциліндра механізму запирання кокільної машини

Таблиця 1.1 – Вихідні дані до розрахунку гідроциліндра механізму запирання кокільної машини

Номер по списку в групі	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Діаметр поршня $D_{порш}$ , мм (передостання)	105	112	120	128	136	144	152	160	168	176
Робочий тиск $P_p \cdot 10^6$ , Н/м <sup>2</sup> (остання)	7,0	8,5	9,5	10,5	12,0	13,5	15,0	16,0	17,0	18,0

1 Визначити з табл. 1.1 вихідні дані до розрахунку гідроциліндра механізма запирання кокільної машини (в залежності від номеру по списку в групі 01, 02 і так далі – дві цифри).

2 Обчислити розрахункові навантаження з урахуванням їх категорії та найбільші напруження, що з'являються в деталі.

3 Порівняти розрахункові напруження з допустимими напруженнями для матеріалу деталі.

Допустимі напруження  $[\sigma]$  визначаються по табл. 122 [4] для виду навантаження (розтягування) і II категорії навантажень (пульсуючі – навантаження, що змінюються від нульових до максимальних).

В гідроциліндрах окружні напруження в два рази вищі, ніж меридіальні. Тому розрахунок на міцність проводиться по окружним напруженням. Якщо товщина стінки гідроциліндра ( $\delta \leq 0,1 r$ ) радіуса поршня, то він вважається тонкостінним. Тоді окружні напруження розраховуються по рівнянню Лапласа:

$$\sigma = \frac{P_p \cdot r}{\delta}, \text{ Н/м}^2 \quad (1.2)$$

де  $P_p$  – робочий тиск в гідроциліндрі, Н/м<sup>2</sup>;

$r$  – радіус поршня гідроциліндра, м;

$\delta$  – товщина стінки гідроциліндра, м.

Якщо товщина стінки гідроциліндра ( $\delta \geq 0,1 r$ ) радіуса поршня, то окружні напруження на внутрішній стінці більші і розраховуються по формулі для товстостінних циліндрів:

$$\sigma = \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \cdot \left( 1 + \frac{r_2^2}{r_1^2} \right) \cdot P_p, \text{ Н/м}^2 \quad (1.3)$$

де  $r_1$  – внутрішній радіус гідроциліндра, м ( $r_1 = r$ );

$r_2$  – зовнішній радіус гідроциліндра, м ( $r_2 = r_1 + \delta$ );

$P_p$  – робочий тиск в гідроциліндрі, Н/м<sup>2</sup>.

Умова міцності для матеріалу корпусу гідроциліндра має вигляд

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma], \text{ Н/м}^2 \quad (1.4)$$

де  $[\sigma]$  – допустимі напруження для матеріалу корпусу гідроциліндра (сталь 40Х, II категорія навантажень –  $[\sigma] = 145 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  [4]).

Коефіцієнт запасу гідроциліндра по міцності складає

$$n_{\text{міц}} = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{max}}}, \quad (1.5)$$

Із умови міцності мінімальна товщина стінки гідроциліндра може бути

$$\delta_{\text{min}} = \frac{P_p \cdot r}{[\sigma]}, \text{ м} \quad (1.6)$$

Коефіцієнт запасу по товщині стінки складає

$$n_{\text{тов}} = \frac{\delta_{\text{реал.}}}{\delta_{\text{min}}}, \quad (1.7)$$

Таким чином, корпус гідроциліндра виготовлений з загальним коефіцієнтом запасу  $n$ .

Шток гідроциліндра відчуває зусилля  $N$ , яке створюється робочим тиском в циліндрі на поршень

$$N = P_p \cdot F_{\text{порш}} = P_p \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{порш}}^2}{4}, \text{ Н} \quad (1.8)$$

де  $D_{\text{порш}}$  – діаметр поршня гідроциліндра, м.

Напруження в штоку дорівнює

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{N}{F_{\text{шт}}} \leq [\sigma], \text{ Н/м}^2 \quad (1.9)$$

де  $F_{\text{шт}}$  – площа штоку гідроциліндра,  $\text{м}^2$ ;

$[\sigma]$  – допустимі напруження для матеріалу штока гідроциліндра (сталь 12ХН3А, II категорія навантажень –  $[\sigma] = 220 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  [4]).

$$F_{\text{шт}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{шт}}^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (1.10)$$

де  $d_{\text{шт}}$  – діаметр штоку гідроциліндра, м.

Коефіцієнт запасу штока гідроциліндра по міцності визначається по формулі (1.5).

$$n_{\text{міц}} = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{max}}}.$$

Шток гідроциліндра необхідно перевірити на стійкість.

Гнучкість штоку складає

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l_{\text{шт}}}{i_{\text{min}}}, \quad (1.11)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт, що враховує умови закріплення штоку ( $\mu=1,0$ );

$l_{\text{шт}}$  – хід штоку, м;

$i_{\text{min}}$  – мінімальний радіус інерції штоку, м.

$$i_{\text{min}} = \sqrt{\frac{I_{\text{min}}}{F_{\text{шт}}}}, \text{ м} \quad (1.12)$$

де  $I_{\text{min}}$  – мінімальний осьовий момент штоку,  $\text{м}^4$ .

Мінімальний осьовий момент штоку визначається по формулі

$$I_{\text{min}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{шт}}^4}{64}, \text{ м}^4 \quad (1.13)$$

Якщо гнучкість штоку  $\lambda \leq 100$ , то критичну силу  $N_{\text{кр}}$  при якій шток втратить свою стійкість необхідно визначати по емпіричним залежностям Ясинського Ф.С.

$$N_{\text{кр}} = (a - b \cdot \lambda) \cdot F_{\text{шт}}, \text{ Н} \quad (1.14)$$

де  $a$  і  $b$  – емпіричні коефіцієнти,  $\text{Н/м}^2$  (для нелегованих сталей  $a = 321 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ ,  $b = 1,16 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ ; для легованих сталей  $a = 589 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ ,  $b = 3,82 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  [5]).

Якщо гнучкість штоку  $\lambda \geq 100$ , то критична сила  $N_{кр}$  при якій шток втратить свою стійкість визначається по рівнянню Ейлера

$$N_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{(\mu \cdot l)^2}, \text{ Н} \quad (1.15)$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу, Н/м<sup>2</sup> (для сталі  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>).  
Коефіцієнт запасу по стійкості

$$n_{ст} = \frac{N_{кр}}{N}, \quad (1.16)$$

Таким чином, шток виготовлений з більш високим загальним коефіцієнтом запасу, внаслідок того, що при незначному перекосі прикладення навантаження по осі в штоку можуть виникнути не тільки стискаючі напруження, але і згинальні.

### Зміст звіту

В звіті повинні бути відображені.

- 1 Назва і мета роботи.
- 2 Загальні теоретичні відомості.
- 3 Схема машини і режим її роботи, схема гідроциліндра.
- 4 Необхідні розрахунки по роботі.
- 5 Висновки по роботі.

### Контрольні запитання для самоперевірки

- 1 В чому сутність процесу лиття в кокіль?
- 2 Виливки з яких сплавів можна виготовляти литтям в кокіль?
- 3 Які основні достоїнства і економічні переваги лиття в кокіль?
- 4 Як класифікуються кокільні форми і від чого залежить їх конструкція?
- 5 Як класифікуються кокільні машини?
- 6 Які основні функції кокільної машини?
- 7 Який устрій і принцип роботи кокільної машини?
- 8 Які існують періоди роботи механізму кокільної машини?
- 9 Які сили повинен розвивати механізм кокільної машини в різні періоди її роботи?

### Рекомендована література

1. Спеціальні та особливі види лиття: навч. посіб. / Кочешков А.С., Ямшинський М.М., Лютий Р.В., Лук'яненко І.В. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 53 с.

2. Nath J. Aluminum Castings Engineering Guide / J. Nath. Materials Park, Ohio: ASM International, 2018. 302 p.

3. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / А.М. Верховлюк, А.В. Нарівський, В.Г. Могилаєнко; за ред. акад. НАН України В.Л. Найдека; НАН України, Фіз.-технол. ін-т металів та сплавів. Київ: Вініченко, 2016. 223 с.

4. Писаренко Г.С. Довідник з опору матеріалів / Г.С. Писаренко, О.П. Яковлев, В.В. Матвеев. 2-ге вид., перероб. та доп. Київ: Наук. думка, 1988. 736 с.

5. Конспект лекцій з дисципліни «Устаткування та проектування ливарних цехів». Розділ 1. «Устаткування загального призначення» для студентів напряму Ливарне виробництво / Укл.: С.А. Стороженко. Кам'янське: ДДТУ, 2017. 48 с.

6. Відео роботи кокільних машин на YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=adwp9zAEVSQ>

## Лабораторна робота № 2

### ВИЗНАЧЕННЯ СИЛОВИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИНИ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

**Мета роботи** – визначити тиск в камері пресування машини лиття під тиском і середню швидкість пресування, розрахувати довжину робочого ходу пресового поршня і загальну довжину ходу поршня гідروциліндра механізму пресування, а також рівень рідкого металу в камері пресування.

Час виконання роботи – 4 години.

#### Загальні відомості

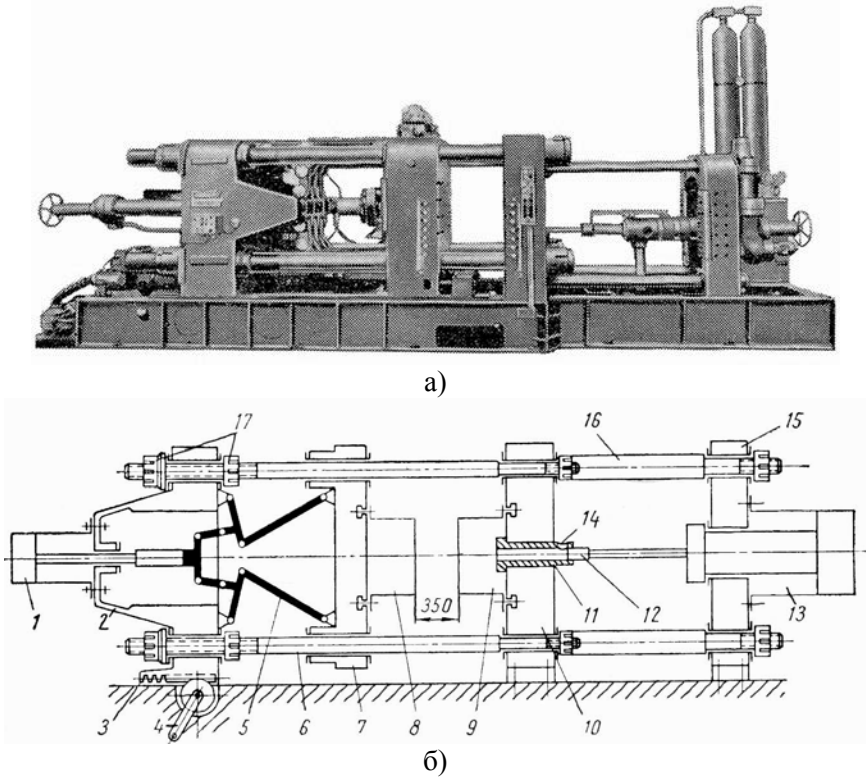
Лиття під тиском є одним із найбільш продуктивних методів виготовлення виливків високої точності та чистоти поверхні із кольорових металів. Цим способом виготовляють виливки, по конфігурації та розмірам найбільш близькі до готових деталей з цинкових, алюмінієвих, магнієвих та мідних сплавів вагою від декількох грамів до десятків кілограмів. При литті під тиском основними показниками якості є точність, шорсткість поверхні, механічні властивості, щільність, герметичність, які визначаються особливостями виготовлення виливка.

Сутність методу полягає в тому, що металевий сплав у рідкому або твердорідкому стані заливається у камеру пресування спеціальної машини лиття під тиском, а потім під дією поршня, який переміщується в цій камері, заповнює з високою швидкістю через ливникові канали порожнину прес-форми і твердіє у ній під тиском. При розкритті прес-форми вилівок вилучається. Таким чином, прес-форма заповнюється під дією зовнішніх сил, які перевищують сили гравітації, а твердіння металу здійснюється під надлишковим тиском [3].

Рідкий метал рухається у ливниковій системі і порожнині прес-форми з різними швидкостями від 0,5 до 140 м/с. Кінцевий тиск на розплави досягає 500 МПа. Середній час заповнення прес-форми складає 0,06 секунди і практично не залежить від розмірів, товщини стінки та конфігурації виливки. Це дозволяє, не дивлячись на високу швидкість охолодження, виготовляти виливки з товщиною стінки до 1 мм і мінімальними припусками на механічну обробку, а іноді і без неї.

Усі сучасні машини лиття під тиском по принципу роботи вузла пресування розподіляються на три типи: машини з гарячою камерою пресування; машини з вертикальною холодною камерою пресування; машини з горизонтальною холодною камерою пресування [1].

Найбільш розповсюдженими є машини лиття під тиском з горизонтальною холодною камерою пресування (рис. 2.1).



- а – загальний вид; б – схема машини;  
 1 – гідроциліндр механізму запирання; 2 – плита; 3 – рейка; 4 – ручка;  
 5 – важільна система; 6, 16 – колони; 7 – рухома плита;  
 8, 9 – рухома і нерухома половини прес-форми; 10, 15 – нерухома плита;  
 11 – камера пресування; 12 – поршень; 13 – гідроциліндр механізму пресування; 14 – заливальне вікно; 17 – гайки.

Рисунок 2.1 - Машина лиття під тиском з горизонтальною холодною камерою пресування

Найважливіші вузли машини – механізм запирання і механізм пресування. Механізм запирання прес-форми, яка складається з половин 8 і 9, закріплених на рухомій 7 і нерухомій 10 плитах машини, складається із гідроциліндра 1 і важільної системи 5. Рухома плита 7 пересувається по подовжніх колонах 6, які служать для неї спрямовуючими. Механізм пресування складається із гідроциліндра 13, поршня 12 та камери пресування 11, в якій є заливальне вікно 14. Гідроциліндр 13 механізма пресування укріплений в нерухомій плиті 15, яка з'єднана колонами 16 з нерухою плитою 10. При налазці машини плита 2, до якої кріпляться рухомі ланки важелів 5 механізму запирання, може переміщатися в подовжньому напрямі рейкою 3, яка пересувається ручкою 4. Положення плити 2 відносно колон 6 фіксується гайками 17, що мають ноніусні ділення [2, 4].

При виготовленні виливків на даних машинах здійснюються наступні операції (рис. 2.2). Запирання прес-форми за рахунок пересування рухомої плити до нерухомої. Заливання рідкого металу через вікно 3 в камеру пресування 2, яка безпосередньо зв'язана з нерухою половиною прес-форми 1. Камера пресування 2 розташована горизонтально по осі машини і перпендикулярно до площини роз'єму прес-форми. При русі поршня 5 рідкий метал через живильник 4 заповнює робочу порожнину прес-форми. Після закінчення кристалізації металу прес-форма розкривається і вилівок разом з прес-залишком 7 виштовхується поршнем 5 із нерухомої частини прес-форми 1. Як правило, вилівок залишається в рухомій половині прес-форми 8, а потім виштовхується із неї за допомогою системи штовхачів і скидається в спеціальну тару, або витягується захватами маніпулятора [3].

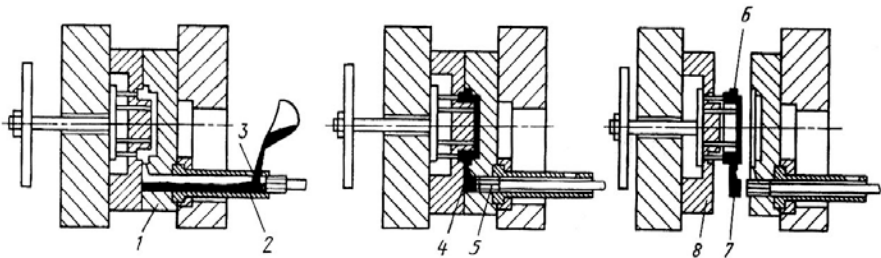
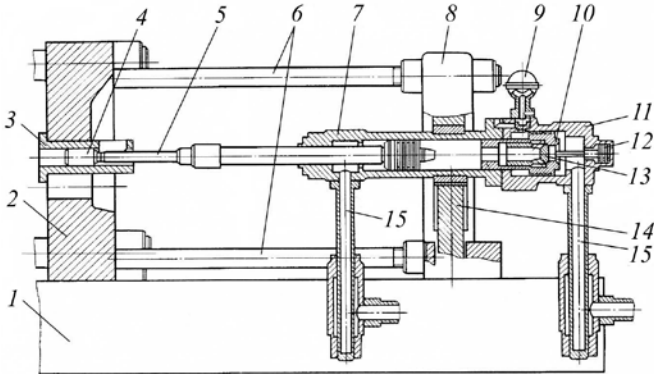


Рисунок 2.2 – Схема лиття під тиском на машинах з горизонтальною холодною камерою пресування

На рис. 2.3 зображена конструктивна схема вузла пресування сучасної машини лиття під тиском з горизонтальною холодною камерою пресування.



1 – станина; 2 – нерухома плита; 3 – камера пресування; 4 – поршень;  
5 – шток; 6 – колони; 7 – гідроциліндр пресування; 8 – стійка; 9 – золотник;  
10 – диференційний поршень; 11 – мультиплікатор; 12 – поршень клапану;  
13 – зворотній клапан; 14 – гідроциліндр-домкрат; 15 – телескопічні труби.

Рисунок 2.3 – Конструктивна схема вузла пресування машини лиття під тиском з горизонтальною холодною камерою пресування

Станина 1, нерухома плита 2 машини, колони 6 і стійка 8 утворюють просторову раму – що несе конструкцію вузла пресування. Гідроциліндр пресування 7 і закріплений на його торці мультиплікатор 11 встановлені в стійці 8 та можуть переміщатися у вертикальній площині по спрямовуючим стійки 8 за допомогою гідроциліндра-домкрата 14. Зворотній клапан 13, який вбудований в тіло диференційного поршня 10 мультиплікатора 11, призначений для роз'єднання поршневої порожнини підвищеного тиску і порожнини номінального тиску на початку спрацювання мультиплікатора. Поршень 12 служить для відкриття зворотного клапану 13 при поверненні диференційного поршня 10 мультиплікатора у початкове положення. Напірний золотник 9 призначений для регулювання кінцевого тиску в гідроциліндрі 7 при підпресуванні в результаті зміни протivotиску в штоковій порожнині мультиплікатора. Робоча рідина (масло) потрапляє в гідроциліндр 7 механізма пресування по телескопічним трубам 15.

## Методика проведення розрахунків

При розрахунку машин лиття під тиском по заданих значеннях зусилля запирання, зусилля пресування та найбільшої ваги рідкого металу, що заливається визначаються тиск в камері пресування, максимальний тиск підпресування і середня швидкість пресування. Крім того, для різних діаметрів камери пресування розраховуються довжина робочого ходу пресового поршня, загальна довжина ходу поршня гідроциліндра механізму пресування та рівень рідкого металу в камері пресування.

### Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи студент самостійно вивчає матеріал стосовно питань конструкцій, принципу дії та роботи машин лиття під тиском за літературою [1, с. 66-215; 2 с. 268-321; 3, с. 5-183; 4, с. 5-139].

Студент проглядає конспект лекцій з даної дисципліни по темі лабораторної роботи.

В зошиті для лабораторних робіт оформлюється теоретична частина роботи з обов'язковим наведенням всіх рисунків.

### Порядок виконання лабораторної роботи

Провести необхідні розрахунки механізму пресування машини лиття під тиском з горизонтальною камерою пресування (рис. 2.4).

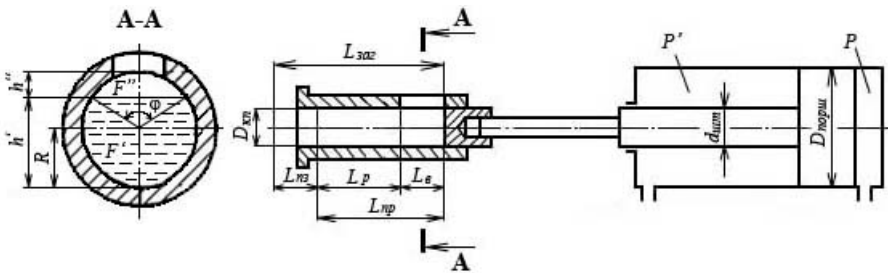


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема механізму пресування машини лиття під тиском

Визначити з табл. 2.1 вихідні дані до розрахунку механізму пресування машини лиття під тиском (в залежності від номеру по списку в групі 01, 02 і так далі – дві цифри).

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до розрахунку механізму пресування машини лиття під тиском

Номер по списку в групі	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тиск масла $P \cdot 10^6, \text{Н/м}^2$ (передостання)	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5
Модель машини (остання)	71106	71107	71108	71109	71110	71111	71112	71113	71114	71115

По заданій моделі машини з додатку А визначити її технічні характеристики (зусилля запирання  $N_{\text{зап}}$ , зусилля пресування  $N_{\text{пр}}$  і найбільшу вагу рідкого металу, що заливається  $M_{\text{вил}}$ ).

Діаметр основної камери пресування вибирається при середньому статичному тиску

$$D_{\text{кп}} = \sqrt{\frac{4 \cdot N_{\text{пр}}}{\pi \cdot p_{\text{м}}}}, \text{ м} \quad (2.1)$$

де  $N_{\text{пр}}$  – зусилля пресування, Н (додаток А);

$p_{\text{м}}$  – середній статичний тиск,  $\text{Н/м}^2$  ( $p_{\text{м}} = 50 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ ).

Розраховане значення  $D_{\text{кп}}$  необхідно округлити і конструктивно прийняти діаметр камери пресування.

Тиск в камері пресування в кінці ходу пресового поршня знаходиться по формулі

$$P_{\text{пр}} = \frac{N - N' - T_1 - T_2}{F_{\text{кп}}}, \text{ Н/м}^2 \quad (2.2)$$

де  $N$  – зусилля, яке створюється тиском масла в порожнині гідроциліндра, що заповнюється, Н;

$N'$  – зусилля, яке створюється протivotиском масла в порожнині гідроциліндра, що спорожняється, Н;

$T_1$  – сила тертя в поршневих кільцях, Н;

$T_2$  – сила тертя в манжетних ущільненнях штока, Н;

$F_{\text{кп}}$  – площа поперечного перетину камери пресування, м<sup>2</sup>.

$$F_{\text{кп}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{кп}}^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

де  $D_{\text{кп}}$  – діаметр камери пресування, м.

Зусилля, яке створюється тиском масла в порожнині гідроциліндра, що заповнюється

$$N = P \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{порш}}^2}{4}, \text{ Н} \quad (2.4)$$

де  $P$  – тиск масла в порожнині гідроциліндра, що заповнюється, Н/м<sup>2</sup> (табл. 2.1);

$D_{\text{порш}}$  – діаметр поршня гідроциліндра механізму пресування, м ( $D_{\text{порш}} = (3,0 \div 3,5) \cdot D_{\text{кп}}$ ).

Зусилля, яке створюється протivotиском масла в порожнині гідроциліндра, що спорожняється

$$N' = P' \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{порш}}^2 - d_{\text{шт}}^2), \text{ Н} \quad (2.5)$$

де  $P'$  – протivotиск масла в порожнині гідроциліндра, що спорожняється, Н/м<sup>2</sup> ( $P' = 0,25 P$ );

$d_{\text{шт}}$  – діаметр штока гідроциліндра механізму пресування, м ( $d_{\text{шт}} = D_{\text{кп}}$ ).

Сили тертя в поршневих кільцях і в манжетних ущільненнях штока

$$T_1 = \pi \cdot D_{\text{порш}} \cdot b_1 \cdot f_1 \cdot (i_1 \cdot P_{\text{к}} + P), \text{ Н} \quad (2.6)$$

$$T_2 = \pi \cdot d_{\text{шт}} \cdot b_2 \cdot f_2 \cdot i_2 \cdot P', \text{ Н} \quad (2.7)$$

де  $b_1, b_2$  – ширина поршневого кільця і манжети відповідно, м ( $b_1 = 0,01$  м,  $b_2 = 0,012$  м);

$f_1, f_2$  – коефіцієнти тертя відповідно поршневого кільця о стінки гідроциліндра і манжети о шток ( $f_1 = 0,07 \div 0,08$ ,  $f_2 = 0,09 \div 0,1$ );

$i_1, i_2$  – кількість поршневих кілець і манжет, шт. ( $i_1 = 4$ ,  $i_2 = 5$ );

$P_k$  – тиск поршневого кільця на стінки гідроциліндра, Н/м<sup>2</sup> ( $P_k = (0,09 \div 0,1) \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>).

По розрахованому тиску в камері пресування в кінці ходу пресового поршня по формулі (2.2) знаходиться максимальний тиск підпресування

$$P_{\text{під}} = k_m \cdot P_{\text{пр}}, \text{ Н/м}^2 \quad (2.8)$$

де  $k_m$  – коефіцієнт мультиплікації ( $k_m = 2,5 \div 4$  співвідношення максимального тиску в гідроциліндрі пресування в кінці підпресування і до нього).

Зусилля підпресування, необхідне для забезпечення заданої ступені стиснення газових включень у виливку визначається по тиску підпресування

$$N_{\text{під}} = m_1 \cdot P_{\text{під}} \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{кп}}^2}{4}, \text{ Н} \quad (2.9)$$

де  $m_1$  – коефіцієнт втрати тиску в камері пресування і ливниковій системі (для машин з горизонтальною камерою пресування  $m_1 = 0,85 \div 0,95$ , з вертикальною  $m_1 = 0,8 \div 0,85$ , з гарячою  $m_1 = 0,7 \div 0,8$ ).

Розрахункова довжина робочого ходу пресового поршня знаходиться виходячи з найбільшої ваги рідкого металу, що заливається

$$L'_p = \frac{4 \cdot M_{\text{вил}}}{\pi \cdot D_{\text{кп}}^2 \cdot \rho_m}, \text{ м} \quad (2.10)$$

де  $M_{\text{вил}}$  – найбільша вага рідкого металу, що заливається, кг (вага виливки з ливниковою системою і прес-залишком) (додаток А);

$\rho_m$  – щільність рідкого металу, кг/м<sup>3</sup> (для алюмінієвих сплавів  $\rho_{\text{Al}} = 2500 \div 2700$  кг/м<sup>3</sup>).

Розраховане по формулі (2.10) значення  $L'_p$  необхідно збільшити на 5-10 % і конструктивно прийняти довжину робочого ходу пресового поршня  $L_p$ .

Загальна довжина ходу поршня гідроциліндра механізму пресування

$$L_{\text{заг}} = L_p + L_B + L_{\text{пз}}, \text{ м} \quad (2.11)$$

де  $L_B$  – довжина ходу поршня для перекриття заливального вікна, м;

$L_{\text{пз}}$  – довжина ходу поршня для виштовхування прес-залишка, м.

$$L_B = (0,3 \div 0,4) \cdot L_p, \text{ м} \quad (2.12)$$

$$L_{\text{пз}} = (0,4 \div 0,5) \cdot L_p, \text{ м} \quad (2.13)$$

Максимальна вага рідкого металу, що заливається (вага вилки з ливниковою системою і прес-залишком) для даної камери пресування складає

$$M_{\text{вил}}^{\text{max}} = F_{\text{кп}} \cdot L_p \cdot \rho_M, \text{ кг} \quad (2.14)$$

Рівень рідкого металу в камері пресування до початку пресування визначається розмірами заливального вікна, які повинні бути такими, щоб забезпечити можливість заливки в камеру пресування максимально необхідної кількості рідкого металу.

Об'єм вилки з ливниковою системою і прес-залишком

$$V_{\text{вил}} = F_{\text{кп}} \cdot L_p, \text{ м}^3 \quad (2.15)$$

Довжина ходу пресового поршня при пресуванні

$$L_{\text{пр}} = L_p + L_B, \text{ м} \quad (2.16)$$

Площа поперечного перетину металу в камері пресування до початку руху пресового поршня

$$F' = \frac{V_{\text{вил}}}{L_{\text{пр}}}, \text{ м}^2 \quad (2.17)$$

Площа поперечного перетину камери пресування, що не зайнята металом до початку руху пресового поршня

$$F'' = F_{\text{кп}} - F', \text{ м}^2 \quad (2.18)$$

Центральний кут  $\varphi$  знаходиться підбором із співвідношення

$$\frac{F''}{R^2} = 0,5 \cdot (\varphi - \sin \varphi) \quad (2.19)$$

де  $R$  – радіус камери пресування, м;

$\varphi$  – центральний кут ( $\varphi = 2,094 \div 2,443$  рад =  $120^\circ \div 140^\circ$ ).

Значення кута  $\varphi$  в радіанах знаходиться із пропорції

$$180^\circ = 3,141$$

$$140^\circ = 2,443$$

Стріла сегменту знаходиться по формулі

$$\left( \frac{h''}{R} \right) = 2 \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{4} \quad (2.20)$$

Висота сегменту визначається по формулі

$$h'' = \left( \frac{h''}{R} \right) \cdot \frac{D_{\text{кп}}}{2}, \text{ м} \quad (2.21)$$

Рівень рідкого металу в камері до початку пресування

$$h' = D_{\text{кп}} - h'', \text{ м} \quad (2.22)$$

Середня швидкість пресування визначається по формулі

$$v_{\text{пр}} = \frac{4 \cdot V_{\text{вил}}}{\pi \cdot D_{\text{кп}}^2 \cdot \tau_{\text{зап}}}, \text{ м/с} \quad (2.23)$$

де  $V_{\text{вил}}$  – об'єм виливки з ливниковою системою і прес-залишком, м<sup>3</sup>;

$\tau_{\text{зап}}$  – тривалість заповнення прес-форми, с ( $\tau_{\text{зап}} = 0,06$  с).

По паспорту машина лиття під тиском забезпечує швидкість пресування до 10 м/с.

## Зміст звіту

В звіті повинні бути відображені.

- 1 Назва і мета роботи.
- 2 Загальні теоретичні відомості.
- 3 Схема машини, схема лиття і вузол пресування.
- 4 Необхідні розрахунки по роботі.
- 5 Висновки по роботі.

### Контрольні запитання для самоперевірки

- 1 В чому сутність процесу лиття під тиском?
- 2 Виливки з яких сплавів можна виготовляти литтям під тиском?
- 3 Які основні технологічні параметри лиття під тиском?
- 4 Як класифікуються машини лиття під тиском по принципу роботи вузла пресування?
- 5 В чому різниця між гарячою і холодною камерою пресування?
- 6 Який устрій і принцип роботи машини лиття під тиском з горизонтальною холодною камерою пресування?
- 7 Які операції здійснюються при виготовленні виливків на машині лиття під тиском з горизонтальною холодною камерою пресування?
- 8 Який устрій і принцип роботи вузла пресування машини лиття під тиском з горизонтальною холодною камерою пресування?

### Рекомендована література

1. Спеціальні та особливі види лиття: навч. посіб. / Кочешков А.С., Ямшинський М.М., Лютий Р.В., Лук'яненко І.В. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 53 с.
2. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч. посіб. / А.М. Верховлюк, А.В. Нарівський, В.Г. Могилатенко. Фізико-технол. ін-т металів та сплавів. Київ: Вініченко, 2016. 223 с.
3. Відео роботи машин лиття під тиском на YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=J-VE-Aytlg18>

### Лабораторна робота № 3

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМА ЗАПИРАННЯ МАШИНИ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

**Мета роботи** – визначити узагальнену жорсткість машини, зусилля гідроциліндра механізму запирання, сумарну деформацію пружної системи машини та коефіцієнт запасу механізму запирання, а також розрахувати колони машини на міцність.

Час виконання роботи – 4 годин.

### Загальні відомості

Одним з найважливіших вузлів машини лиття під тиском є механізм запирання. Від конструкції механізму запирання у великій мірі залежать продуктивність машини, умови роботи елементів прес-форм, точність і щільність виливків, а також безпека праці робітників.

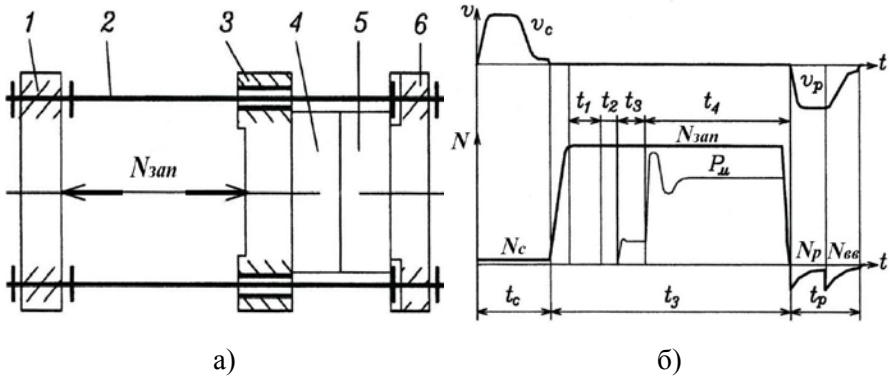
Значний тиск, який виникає в порожнині прес-форми у момент запресовки рідкого металу, викликає за деяких умов розкриття прес-форми і викид рідкого металу через зазор, що утворюється між її половинами. Механізм запирання повинен розвивати зусилля, яке гарантує такий силовий контакт стикових поверхонь половин прес-форми, при якому повністю виключається можливість розкриття прес-форми під час пресування. У зв'язку з цим величина зусилля запирання є однією з основних силових характеристик машин лиття під тиском.

Механізм запирання виконує наступні основні задачі:

- а) закриття – збирання прес-форми;
  - б) запирання – утримання прес-форми в замкненому стані при заповненні порожнини прес-форми рідким металом і підпресуванні;
  - в) розкриття – розбирання прес-форми для видалення виливки.
- Додатковою функцією механізму запирання часто є видалення стержнів і виштовхування виливки із рухомої половини прес-форми.

В машині лиття під тиском (рис. 3.1 а) одна нерухома 5 половина прес-форми закріплюється на передній нерухомій плиті 6. Друга рухома 4 половина прес-форми монтується на рухомій плиті 3 машини. Переміщення рухомої половини прес-форми відносно нерухомої забезпечується спрямовуючими колонами 2. Нерухомі плити 1 і 6 та спрямовуючі колони 2 утворюють несучу конструкцію, що сприймає

всі виникаючі навантаження. Механізм запирання машини (на схемі не показаний) звичайно розміщується між плитами 1 і 3 та створює прикладену до цих плит силу  $N_{\text{зан}}$  запирання прес-форми.



1, 6 – нерухомі плити; 2 – спрямовуючі колони; 3 – рухома плита;  
4, – рухома половина прес-форми; 5 – нерухома половина прес-форми.

Рисунок 3.1 – Схема силової конструкції (а) і діаграма роботи (б) механізму запирання машини лиття під тиском

Робочий процес механізму запирання машини лиття під тиском можна розбити на три періоди (рис. 3.1 б).

Перший період  $t_c$  – збирання прес-форми (зближення рухомої та нерухомої половин прес-форми). До швидкісного режиму роботи механізму запирання в цей період особливих вимог не пред'являється. Однак для скорочення циклу роботи машини час  $t_c$  повинен бути малим, тому швидкість спочатку зростає. А щоб уникнути динамічних ударів при зіткненні половин прес-форми швидкість переміщення рухомої плити наприкінці періоду зменшується.

В цьому періоді механізм повинен розвивати відносно невелику силу  $N_c$  обумовлену силами тертя  $N_{\text{тр}}$  при русі рухомої плити по спрямовуючим машини  $N_c = N_{\text{тр}}$ . Однак треба мати на увазі, що спочатку руху необхідна сила суттєво більше внаслідок відмінності коефіцієнтів тертя спокою і руху.

Другий період  $t_3$  – утримання прес-форми в замкненому стані при заповненні порожнини прес-форми рідким металом і підпресуванні. Механізм запирання машини повинен розвивати силу

$$N_{\text{зап}} > N_{\text{м}} = P_{\text{м}} \cdot F_{\text{вил}}, \quad (3.1)$$

де  $N_{\text{м}}$  – рівнодіюча сил тиску рідкого металу на половину форми;

$P_{\text{м}}$  – тиск металу в порожнині прес-форми;

$F_{\text{вил}}$  – площа проекції виливки на площину роз'єму прес-форми.

При визначені сили  $N_{\text{м}}$  необхідно враховувати не тільки статичний тиск в металі при підпресуванні, але і динамічні піки тиску. Сила запирання повинна бути такою, щоб повністю виключити розкриття прес-форми і викид рідкого металу по площині її роз'єму в кінці заповнення порожнини прес-форми.

Час витримки сили запирання повинен бути більше сумарного часу роботи пресового механізму ( $t_3 > t_1 + t_2 + t_3 + t_4$ ). Звичайно вона витримується до закінчення охолодження виливки в прес-формі.

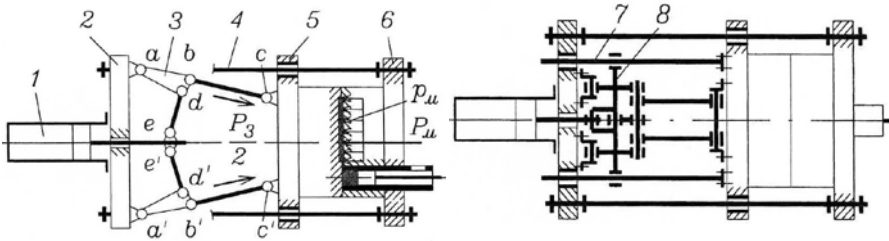
Третій період  $t_p$  – розкриття прес-форми. До швидкісного режиму пред'являються ті ж самі вимоги, що і в перший період.

Механізм запирання повинен розвивати силу  $N_p$  необхідну для розкриття прес-форми та силу  $N_{\text{вв}}$  виштовхування виливки із рухомої половини прес-форми. Сили в початковий момент розкриття прес-форми і виштовхування виливки значно перевищують сили, необхідні для транспортних переміщень рухомої плити.

У сучасних машинах лиття під тиском застосовуються три основні типи механізмів запирання: важільні, гідравлічні, клинові, а також їх комбінації. По сукупності достоїнств найкращим механізмом запирання для машин лиття під тиском є важільний.

Найпростіший важільний механізм запирання представляє собою кривошипно-шатунний механізм, повзуном в якому є рухома плита машини. В машинах лиття під тиском звичайно застосовуються здвосні кривошипно-шатунні механізми (рис. 3.2). Кривошипи  $ab$  і  $a'b'$ , шатуни  $bc$  і  $b'c'$ , розташовані симетрично відносно осі машини і мають спільний привід від гідроциліндра 1 через важелі  $de$  і  $d'e'$ .

З метою зменшення деформації вигину плит 2 і 5 шарніри  $a$ ,  $a'$  розміщуються поблизу осей колон, а шарніри  $c$ ,  $c'$  дещо зміщуються до центру ( $aa' > cc'$ ).



1 – гідроциліндр; 2, 6 – нерухомі плити; 3 – важільний механізм;  
4 – спрямовуючі колони; 5 – рухома плита; 7 – спрямовуючий  
зрівняльний пристрій; 8 – траверса.

Рисунок 3.2 – Схема важільного механізму запирання машини лиття під тиском

Шарніри  $a, b, c$  і  $a', b', c'$  сприймають всі сили запирання. Для зменшення тиску на контактних поверхнях і зрізаючих напружень в осях шарнірів важільний механізм набирається із пластин, що займають майже весь простір між колонами в горизонтальній площині. На рис. 3.2 умовно показані лише дві пари таких пластин.

Щоб забезпечити однакові умови роботи шарнірів  $a, a'$ ,  $c, c'$  та  $b, b'$  (однакові площі контактних поверхонь шарнірів) для приводних важелів  $de$  і  $d'e'$  виконуються додаткові шарніри  $d$  і  $d'$  на кривошипях, які називаються розвантажувальними.

При запиранні прес-форми важелі  $ab$ ,  $bc$  та  $a'b'$ ,  $b'c'$  займають положення, близьке до мертвого. При  $aa' > cc'$  важільний механізм стійкий у вертикальній площині. Щоб виключити появу бокових сил на штоку гідроциліндра 1, в горизонтальній площині вводиться зрівняльний пристрій. Він складається з спрямовуючих 7, закріплених на рухомій плиті 5, і поперечної траверси 8, що переміщається по цим спрямовуючим. Із траверсою 8 з'єднуються шток гідроциліндра 1 і приводні важелі  $de$  і  $d'e'$ . Однак для виготовлення таких механізм складний, тому в конструкціях важільних механізмів запирання використовуються спрощення.

Для середніх машин лиття під тиском ( $N_{\text{зап}} \leq 10$  МН) приймається  $aa' = cc'$ , збільшуючи при цьому жорсткість плит. Для механізмів з  $aa' = cc'$  зрівняльний пристрій обов'язковий для підвищення стійкості в вертикальній площині та виключення бокових навантажень на шток гідроциліндра. Для відносно малих машин ( $N_{\text{зап}} \leq 1$  МН) додатково виключаються розвантажувальні шарніри  $d$  і  $d'$  ( $aa' = cc'$ ,  $bd = b'd' = 0$ ). Для самих малих машин використовуються одиночні важільні механізми запирання (табл. 2.4 [1]).

### Методика проведення розрахунків

При розрахунку машини лиття під тиском по заданому значенню зусилля запирання визначаються узагальнена жорсткість машини, зусилля гідроциліндра механізма запирання, сумарна деформація пружної системи машини та коефіцієнт запасу механізма запирання. Крім того розраховуються основні навантажені деталі машини, що беруть участь в створенні зусилля запирання – колони. Колони розраховуються на розтягування від зусилля запирання та згинання від ваги плити і закріплених на ній деталей.

### Завдання на підготовку до лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи студент самостійно вивчає матеріал стосовно питань конструкцій, принципу дії та роботи механізмів запирання машин лиття під тиском за літературою [1, с. 66-215; 2 с. 268-321; 3, с. 5-183; 4, с. 5-139].

Студент проглядає конспект лекцій з даної дисципліни по темі лабораторної роботи.

В зошиті для лабораторних робіт оформлюється теоретична частина роботи з обов'язковим наведенням всіх рисунків.

### Порядок виконання лабораторної роботи

На рис 3.3 показана розрахункова схема важільного механізму запирання машини лиття під тиском. Шток гідроциліндра впливає на важіль  $a$  з силою  $N_{\text{гидр}}$ . Двома симетрично розташованими важелями



По заданій моделі машини з додатку Б визначити характеристики ланок важільного механізму запирання та колон машини.

Жорсткість окремих ділянок важільного механізму запирання машини лиття під тиском знаходиться по формулі

$$C_{3-4} = \frac{E \cdot F_{3-4}}{l_{3-4}}; \quad C_{4-5} = \frac{E \cdot F_{4-5}}{l_{4-5}}, \text{ Н/м} \quad (3.2)$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу, Н/м<sup>2</sup> (для сталі  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Н/м<sup>2</sup>);

$F_{3-4}$ ,  $F_{4-5}$  – площа поперечного перетину ділянки, м<sup>2</sup>;

$l_{3-4}$ ,  $l_{4-5}$  – довжина ділянки, м.

Площа поперечного перетину окремих ділянок колони

$$F_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}; \quad F_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}; \quad F_3 = \frac{\pi \cdot d_3^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (3.3)$$

де  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  – діаметр ділянки колони, м.

Жорсткість окремих ділянок колони

$$C_1 = \frac{E \cdot F_1}{l_1}; \quad C_2 = \frac{E \cdot F_2}{l_2}; \quad C_3 = \frac{E \cdot F_3}{l_3}, \text{ Н/м} \quad (3.4)$$

де  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  – довжина ділянки колони, м.

Жорсткість однієї колони визначається по формулі

$$C_{1к} = \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)^{-1}, \text{ Н/м} \quad (3.5)$$

Узагальнена жорсткість машини визначається по формулі

$$C_{уз} = \left[ k \cdot \left( \frac{1}{n \cdot C_{1к}} + \frac{1}{m \cdot C_{3-4}} + \frac{1}{m \cdot C_{4-5}} \right) \right]^{-1}, \text{ Н/м} \quad (3.6)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що враховує жорсткість решти елементів (прес-форми, плит, стиків),  $k = 1,5$ ;

$n$  – кількість колон, ( $n = 4$  шт.);

$m$  – кількість однакових важелів, що працюють паралельно, ( $m = 2$  шт.)

Побудувати (на міліметровому папері) графік залежності коефіцієнта посилення важільного механізму від деформації пружної системи машини  $\eta = \varphi(y)$  (криву 1, рис. 3.4). Максимальний коефіцієнт посилення важільного механізму складає  $\eta_{\max} = 18,6$  (точка  $b$ ).

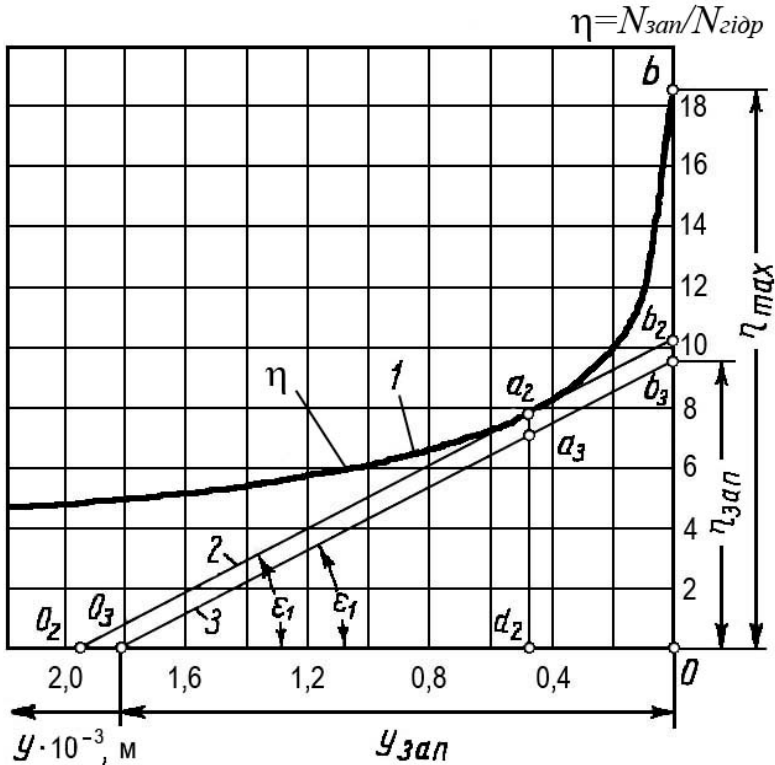


Рисунок 3.4 – Графік залежності коефіцієнта посилення важільного механізму від деформації пружної системи машини

Попереднє значення коефіцієнта кратності  $\aleph$  можливого зусилля запирання задається (табл. 3.1).

Дійсний коефіцієнт посилення важільного механізму (точка  $b_3$ )

$$\eta_{\text{зап}} = \frac{1}{\aleph} \cdot \eta_{\max} \quad (3.7)$$

По заданому значенню зусилля запирання  $N_{\text{зап}}$  машини (додаток А) знаходиться необхідне зусилля гідроциліндра

$$N_{\text{гідр}} = \frac{N_{\text{зап}}}{\eta_{\text{зап}}}, \text{ Н} \quad (3.8)$$

Сумарна деформація пружної системи машини, викликана розпрямленням важелів механізму запирання (точка  $O_3$ ) знаходиться по формулі

$$y_{\text{зап}} = \frac{N_{\text{зап}}}{C_{\text{уз}}}, \text{ м} \quad (3.9)$$

На рис. 3.4 через точки  $b_3$  та  $O_3$  проводиться пряма 3 (лінія  $O_3b_3$ ) під кутом  $\varepsilon_1$  до осі абсцис. Тангенс кута нахилу прямої 3 до осі абсцис знаходиться по формулі

$$\text{tg} \varepsilon_1 = \frac{C_{\text{уз}}}{N_{\text{гідр}}}, 1/\text{м} \quad (3.10)$$

По відрізьку  $OO_3 = y_{\text{зап}}$ , що відсікається прямою 3 на осі абсцис визначається деформація колон, необхідна для отримання заданого значення зусилля запирання

$$\Delta l_{\text{к}} = y_{\text{зап}} \cdot \frac{C_{\text{уз}}}{n \cdot C_{1\text{к}}}, \text{ м} \quad (3.11)$$

На рис. 3.4 паралельно прямій 3 проводиться пряма 2 (лінія  $O_2b_2$ ), дотична до кривої  $\eta$  в точці  $a_2$ . З точки дотику  $a_2$  проводиться ордината  $a_2d_2$  і визначається коефіцієнт запасу механізму запирання по формулі

$$\xi_{\text{зап}} = \frac{a_2d_2}{a_3d_2} \quad (3.12)$$

Коефіцієнт запасу механізму запирання машини лиття під тис-

ком повинен бути в межах  $\xi_{\text{зап}} = 1,1 \div 1,5$ . Таким чином, розрахункове значення коефіцієнта запасу механізму запирання знаходиться у вказаних межах.

Крім того розраховуються основні навантажені деталі машини, що беруть участь в створенні зусилля запирання – колони. Колони розраховуються на розтягування від зусилля запирання та згинання від ваги рухомої плити і закріплених на ній деталей (рис. 3.5).

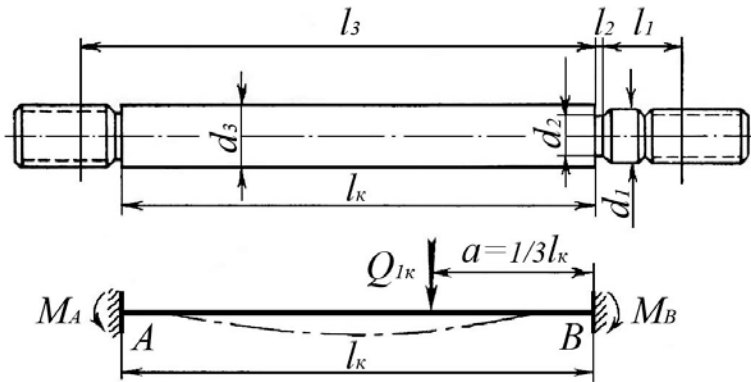


Рисунок 3.5 – Схема колони машини лиття під тиском

Зусилля розтягування, що приходить на одну колону

$$N_{1к} = \frac{N_{\text{зап}}}{4}, \text{ Н} \quad (3.13)$$

Напруження розтягування на окремих ділянках колони

$$\sigma_{\text{роз}}^1 = \frac{N_{1к}}{F_1}; \quad \sigma_{\text{роз}}^2 = \frac{N_{1к}}{F_2}; \quad \sigma_{\text{роз}}^3 = \frac{N_{1к}}{F_3}, \text{ Н/м}^2 \quad (3.14)$$

Умова міцності для матеріалу колони має вигляд

$$\sigma_{\text{роз}}^{\text{max}} \leq [\sigma]_{\text{роз}}, \text{ Н/м}^2 \quad (3.15)$$

де  $[\sigma]_{\text{роз}}$  – допустимі напруження для матеріалу колони (сталь 45, II категорія навантажень –  $[\sigma]_{\text{роз}} = 170 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$  [2]).

Рухома плита під час закривання або відкривання прес-форми рухається по колонах як по спрямовуючим. Тому колони додатково розраховуються на згинання від ваги плити і закріплених на ній деталей. При цьому колона розглядається як балка, затиснена з обох боків (рис. 3.5).

Вага рухомої плити, що приходить на одну колону

$$Q_{1к} = \frac{Q_{пл}}{4}, \text{ Н} \quad (3.16)$$

де  $Q_{пл}$  – вага рухомої плити, Н (додаток А).

Довжина колони, що піддається згинанню

$$l_k = l_3 - l_2 - l_1, \text{ м} \quad (3.17)$$

Згинальний момент має найбільше значення при розташуванні плити на відстані  $a = 1/3 \cdot l_k$  від опори (рис. 3.5). Максимальний згинальний момент визначається по формулі

$$M_{\max} = 0,148 \cdot Q_{1к} \cdot l_k, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.18)$$

Напруження від згинання

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{\max}}{W_x}, \text{ Н/м}^2 \quad (3.19)$$

де  $W_x$  – осьовий момент опору небезпечного перетину, м<sup>3</sup>.

$$W_x = \frac{\pi \cdot d_2^3}{32}, \text{ м}^3 \quad (3.20)$$

Сумарне напруження в небезпечному перетині

$$\Sigma \sigma = \sigma_{\text{роз}}^{\max} + \sigma_{зг}, \text{ Н/м}^2 \quad (3.21)$$

Умова міцності для матеріалу колони

$$\Sigma \sigma \leq [\sigma]_{\text{роз}}, \text{ Н/м}^2 \quad (3.22)$$

Подовження окремих ділянок колони

$$\Delta l_1 = \frac{N_{1к} \cdot l_1}{E \cdot F_1}; \quad \Delta l_2 = \frac{N_{1к} \cdot l_2}{E \cdot F_2}; \quad \Delta l_3 = \frac{N_{1к} \cdot l_3}{E \cdot F_3}, \text{ м} \quad (3.23)$$

Сумарна деформація колон

$$\Delta l_{\text{к}} = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3, \text{ м} \quad (3.24)$$

Таким чином, деталі важільного механізму запирання та колони забезпечують необхідне зусилля запирання машини лиття під тиском.

### Зміст звіту

В звіті повинні бути відображені.

- 1 Назва і мета роботи.
- 2 Загальні теоретичні відомості.
- 3 Діаграма роботи і схема важільного механізму запирання.
- 4 Необхідні розрахунки по роботі.
- 5 Висновки по роботі.

### Контрольні запитання для самоперевірки

- 1 Яке основне призначення механізму запирання машини лиття під тиском?
- 2 Які основні задачі виконує механізм запирання?
- 3 Які існують періоди робочого процесу механізму запирання машини лиття під тиском?
- 4 Які основні типи механізмів запирання застосовуються у сучасних машинах лиття під тиском?
- 5 Який устрій і принцип роботи важільного механізму запирання машини лиття під тиском?
- 6 Які спрощення використовуються в конструкціях важільних механізмів запирання для різних машин лиття під тиском?
- 7 Як здійснюється контроль зусилля запирання та настройка важільного механізму запирання машини лиття під тиском?

## Рекомендована література

1. Спеціальні та особливі види лиття: навч. посіб. / Кочешков А.С., Ямшинський М.М., Лютий Р.В., Лук'яненко І.В. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 53 с.

2. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посіб. / А.М. Верховлюк, А.В. Нарівський, В.Г. Могилатенко; за ред. акад. НАН України В.Л. Найдека; НАН України, Фізико-технол. інститут металів та сплавів. Київ: Вініченко, 2016. 223 с.

3. Писаренко Г.С. Довідник з опору матеріалів / Г.С. Писаренко, О.П. Яковлев, В.В. Матвеев. 2-ге вид., перероб. та доп. Київ: Наук. думка, 1988. 736 с.

4. Конспект лекцій з дисципліни «Устаткування ливарних цехів». Розділ 3. «Машини та механізми ливарного виробництва» для студентів напряму Ливарне виробництво / Укл.: О.О. Могілевцев. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2011. 111 с.

5. Конспект лекцій з дисципліни «Устаткування та проектування ливарних цехів». Розділ 1. «Устаткування загального призначення» для студентів напряму Ливарне виробництво / Укл.: С.А. Стороженко. Кам'янське: ДДТУ, 2017. 48 с.

6. Відео роботи машин лиття під тиском на YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=J-VE-Aytl8>

## Лабораторна робота № 4

### ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІДЦЕНТРОВОЇ МАШИНИ

**Мета роботи** – визначити швидкість обертання ливарної форми і необхідну вагу розплаву, а також розрахувати тиск рідкого металу на робочі поверхні форми та рівнодіючі (головні вектори) сил тиску.

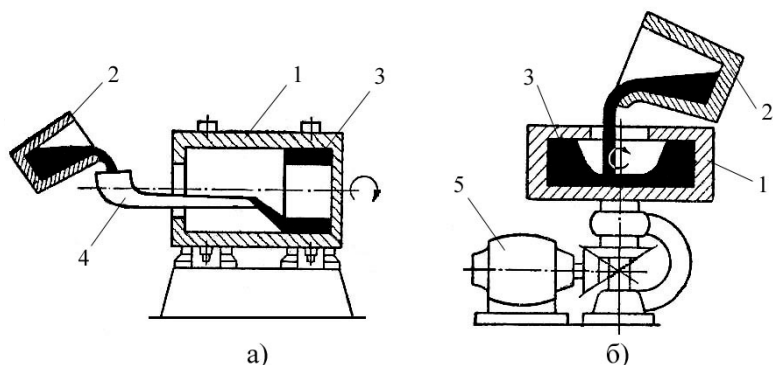
Час виконання роботи – 2 години.

#### Загальні відомості

Відцентрове лиття є перспективним способом виробництва фасонних виливків з формою тіл обертання. Деталі, одержані відцентровим литтям, відрізняються підвищеними механічними властивостями і щільністю за рахунок зменшення усадкової пористості, газових і неметалевих включень. Крім поліпшення якості виливків відцентрове лиття має і значні техніко-економічні переваги в порівнянні з литтям в разові форми: скорочуються витрати металу і тривалість виробничого циклу (спрощується технологічний процес), а також збільшується продуктивність праці. Цей процес може бути повністю механізований або автоматизований.

Відцентрове лиття засновано на тому, що рідкий метал заливається у форму-вилівницю, яка швидко обертається, захоплюється її стінками в обертання і під дією відцентрової сили притискається до стінок форми. У середині форми вздовж осі обертання утворюється порожнина, розмір якої залежить від кількості залитого у форму металу. Вилівниця обертається до тих пір, поки метал не затвердіє. В результаті виходить вилівка внутрішня порожнина якої утворилася внаслідок дії відцентрових сил.

Вісь обертання форми може бути горизонтальною, вертикальною або похилою. В свою чергу, положення осі обертання форми визначає вид внутрішньої порожнини виливки (вільної поверхні). Вільна поверхня (дотична з повітрям) рідкого металу, залитого у форму, що обертається навколо горизонтальної осі є циліндром (рис. 4.1 а). При обертанні форми відносно вертикальної або похилої осі внутрішня поверхня виливки буде мати форму параболоїда обертання (рис. 4.1 б), яка утворюється в результаті одночасної дії відцентрової сили та сили тяжіння (сили взаємно перпендикулярні).



а – з горизонтальною віссю обертання; б – з вертикальною віссю обертання;  
1 – форма, що обертається; 2 – ківш; 3 – виливок; 4 – жолоб; 5 – електродвигун.

Рисунок 4.1 – Схеми відцентрового лиття

За призначенням відцентрові машини близькі до спеціальних. Конфігурація і матеріал виливків, тип ливарної форми, особливості технологічного процесу відображаються на конструкції машин і визначають їх різноманітність. Загальними, характерними для всіх машин, ознаками є положення осі обертання (горизонтальне, вертикальне) і тип конструкції основного вузла (обертання форми) машини (шпindelельні, роторні) (табл. 4.1).

В шпindelельних машинах ливарна форма закріплюється безпосередньо на шпindelелі або планшайбі шпindelеля, що обертається в двох опорах.

В роторних машинах звичайно форма є ротором, що обертається на роликівих опорах, тому такі машини також називають роликівими. Обертання ротору передається через нижні приводні ролики або через шків клинопасової передачі, верхній ролик – притискний.

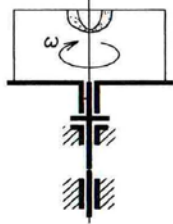
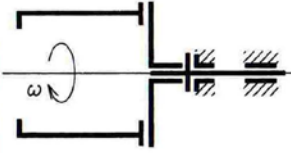
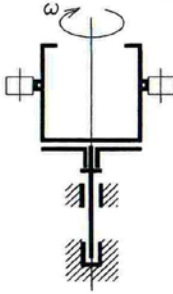
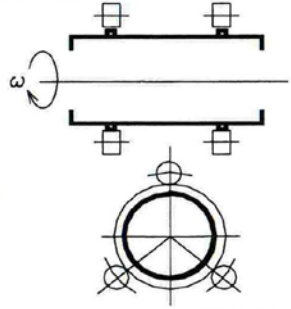
Широку номенклатуру виливків виготовляють на шпindelельних машинах з вертикальною віссю обертання: деталі типу тіл обертання (кільця) малої висоти – заготовки вінців зубчатих і черв'ячних коліс, робочі колеса відцентрових насосів; фасонні виливки із спеціальних сталей і сплавів, що виготовляються в разових або інших формах в вакуумі; дрібні художні, ювелірні та стоматологічні виливки.

Шпindelельні машини з горизонтальною віссю обертання застосовуються для виготовлення деталей типу втулок відносно невеликої довжини – гільзи блоків циліндрів тракторних двигунів.

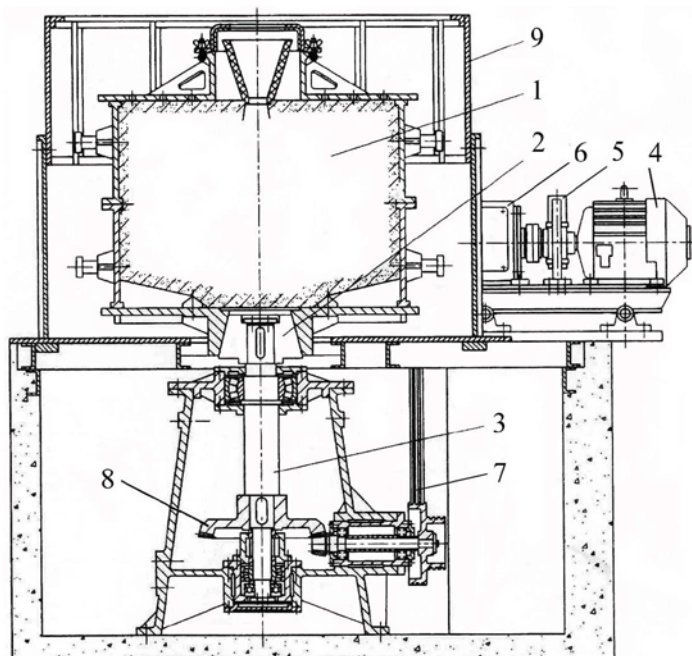
Роторні машини з вертикальною віссю обертання зустрічаються дуже рідко і використовуються в основному для виготовлення порожнистих сталевих зливоків масою до 20-45 тон.

На роторних роликових машинах з горизонтальною віссю обертання виготовляються виливки типу порожнистих тіл обертання переважно середньої та великої довжини (труболиварні машини).

Таблиця 4.1 – Типи відцентрових машин [1]

Конструкція	Вісь обертання	
	Вертикальна	Горизонтальна
Шпиндельна		
Роторна		

Найбільш розповсюдженими є шпиндельні машини з вертикальною віссю обертання (рис. 4.2). В такій машині сира піщано-глиниста форма 1, яка змонтована на спеціальному піддоні, встановлюється на центруючий посадковий конус 2 на шпинделі 3. Спеціального кріплення форма не має. Від електродвигуна 4 обертання шпинделю передається через муфту 5, редуктор 6, клинопасову 7 та конічну зубчасту передачу 8. На час установки і видалення форми рухомий захисний кожух 9 опускається в нижнє положення.



- 1 – разова форма; 2 – центруючий посадковий конус; 3 – шпindelь;  
 4 – електродвигун; 5 – муфта; 6 – редуктор; 7 – клинопасова передача;  
 8 – кінцева зубчата передача; 9 – захисний кожух.

Рисунок 4.2 – Відцентрова шпindelьна машина з вертикальною віссю обертання

По аналогічній схемі будуються машини для лиття деталей типу кілець (заготовки вінців зубчатих і черв'ячних коліс) в металеві форми, що охолоджуються водою (розбризуванням), а також для вакуумного відцентрового лиття. Конус 2 при цьому замінюється столом-планшайбою. При вакуумному литті стіл з формою розміщується в вакуумній камері [1].

### Методика проведення розрахунків

Основним параметром технологічного процесу і машин відцентрового лиття є швидкість обертання ливарної форми ( $\omega$  або  $n$ ). Для кожної окремої виливки вона повинна лежати в певних межах.

При вертикальній осі обертання форми нижня межа швидкості обертання обумовлена допустимою подовжньою різностінністю виливків типу порожнистих тіл обертання, а також вимогами очищення металу від неметалевих включень. При горизонтальній осі обертання основним обмеженням є “дощування”, тобто нижньою межею являється критична швидкість обертання форми. Максимальна швидкість обертання (верхня межа) звичайно обмежується максимальним тиском, міцністю форми або виливки, що твердіє (гарячі тріщини). Для труболиварних машин режими добре відпрацьовані і складають: швидкість обертання форми ( $n = 50 \div 1250$  хв.<sup>-1</sup>); відносне переміщення жолоба і ротора ( $v_{ж} = v_p = 0,02 \div 0,04$  м/с) [1].

Оптимальною вважається найменша швидкість обертання форми, при якій виходить вилівок необхідної якості [2].

Основу розрахунків навантажень на ливарну форму і машину складають рівняння розподілу тиску і головних векторів (рівнодіючих) сил тиску. Ці рівняння справедливі для умови рівноваги рідини (рідкого металу у ливарній формі). Розрахункові тиски і сили практично завжди більше фактичних, оскільки рівновага рідкого металу можлива і досягається не завжди, а твердіння виливки призводить до перерозподілу навантажень. Однак на сьогодні це практично єдиний спосіб інженерної оцінки навантажень.

### **Завдання на підготовку до лабораторної роботи**

Для виконання лабораторної роботи студент самостійно вивчає матеріал стосовно питань конструкцій, принципу дії та роботи відцентрових машин за літературою [1, с. 285-338; 2; 3, с. 367-391].

Студент проглядає конспект лекцій з даної дисципліни по темі лабораторної роботи.

В зошиті для лабораторних робіт оформлюється теоретична частина роботи з обов'язковим наведенням всіх рисунків і таблиць.

### **Порядок виконання лабораторної роботи**

Провести необхідні розрахунки ливарної форми, яка встановлена на відцентровій машині з вертикальною віссю обертання (рис. 4.3). Вісь симетрії форми співпадає з віссю обертання.

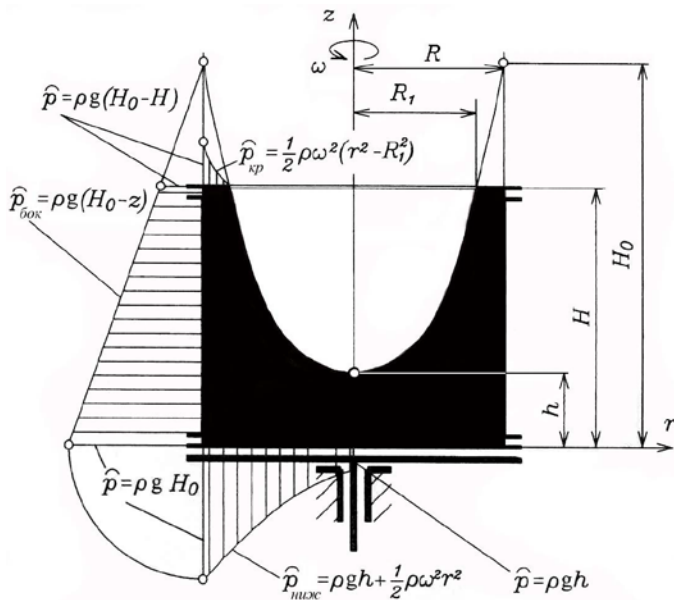


Рисунок 4.3 – Епюри тиску рідкого металу на стінки ливарної форми при відцентровому литті

Виливка повинна мати висоту  $H$  та зовнішній радіус  $R$ , які визначаються з табл. 4.2 (в залежності від номеру по списку в групі 01, 02 і так далі - дві цифри). Мінімальний внутрішній радіус  $R_1$  і товщина дна  $h$  дорівнюють  $R_1 = 0,85 R$  та  $h = 0,3 H$ . Усадка виливки при твердінні не враховується. Вісь  $z$  суміщена з віссю обертання, а початок координат розташований на нижній робочій поверхні форми.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані до розрахунку відцентрової машини

Номер по списку в групі	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Висота $H$ , м (передостання)	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
Радіус $R$ , м (остання)	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32

Рівняння вільної поверхні рідкого металу буде мати вигляд

$$z_0 - h = \frac{\omega^2}{2g} r_0^2 \quad (4.1)$$

Із рівняння (4.1) при  $z_0 = H$  та  $r_0 = R_1$  визначається необхідна кутова швидкість обертання ливарної форми

$$\omega = \frac{\sqrt{2g(H-h)}}{R_1}, 1/c^2 \quad (4.2)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання ливарної форми,  $1/c^2$ ;  
 $g$  – прискорення вільного падіння,  $m/c^2$  ( $g = 9,81 m/c^2$ );  
 $H$  – висота виливки, м;  
 $h$  – товщина дна виливки, м;  
 $R_1$  – мінімальний внутрішній радіус виливки, м.

По кутовій швидкості обертання ливарної форми визначається гравітаційний коефіцієнт

$$k_g = \frac{\omega^2 R_1}{g}, \quad (4.3)$$

Гравітаційний коефіцієнт  $k_g$  охоплює весь комплекс чинників, що визначають необхідну швидкість обертання форми, а тому змінюється в широких межах (від одиниць до сотень).

Кількість обертів ливарної форми за хвилину звичайно обирається по гравітаційному коефіцієнту (по формулам Кеммена або Константинова Л.С. [2])

$$n = 300 \sqrt{\frac{k_g}{R_1}}, \text{ хв.}^{-1} \quad (4.4)$$

Необхідна вага розплаву знаходиться через різницю об'ємів циліндра та параболоїда

$$M_{\text{вил}} = \pi \rho_m [R^2 H - 0,5 R_1^2 (H - h)], \text{ кг} \quad (4.5)$$

де  $M_{\text{вил}}$  – вага виливки, кг;

$\rho_m$  – щільність рідкого металу, кг/м<sup>3</sup> (для сталі  $\rho_m = 7800$  кг/м<sup>3</sup>);

$R$  – зовнішній радіус виливки, м.

Якщо вважати, що атмосферний тиск на внутрішні та зовнішні стінки форми урівноважений, то необхідно визначити гідростатичний тиск. Тиск на робочу поверхню кришки форми знаходиться із рівнянь розподілу тисків в рідині в горизонтальній площині

$$\hat{p}_{\text{кр}} = 0,5\rho_m\omega^2(R^2 - R_1^2), \text{ Па} \quad (4.6)$$

де  $\hat{p}_{\text{кр}}$  – гідростатичний тиск на кришку форми, Па.

Тиск на бокову циліндричну поверхню форми

$$\hat{p}_{\text{бок}}^0 = \rho_m g H_0, \text{ Па} \quad (4.7)$$

$$\hat{p}_{\text{бок}}^1 = \rho_m g (H_0 - H), \text{ Па} \quad (4.8)$$

Гіпотетична висота  $H_0$  визначається із рівняння (4.1) вільної поверхні рідкого металу при  $r_0 = R$

$$H_0 = h + \frac{\omega^2}{2g} R^2, \text{ м} \quad (4.9)$$

Тиск рідкого металу на нижню робочу поверхню форми

$$\hat{p}_{\text{ниж}}^0 = \rho_m g h, \text{ Па} \quad (4.10)$$

$$\hat{p}_{\text{ниж}}^1 = \rho_m g h + 0,5\rho_m\omega^2 R^2, \text{ Па} \quad (4.11)$$

Епюри тиску рідкого металу на робочих поверхнях ливарної форми наведені на рис. 4.3.

Рівнодіючі (головні вектори) сил тиску на стінки ливарної форми визначаються інтеграцією за відповідними площами. В першу чергу мова йде о силах, що діють на кришку і дно форми. Сили тиску на кришку і дно форми діють вертикально. Той же напрямок мають і їх рівнодіючі. Тому необхідно визначити їх модулі, позначивши їх як  $P$ .

Сила, яка діє (вгору) на кришку форми

$$P_k = \int_{R_1}^R 0,5 \rho_m \omega^2 (r^2 - R_1^2) \cdot 2\pi \cdot r dr ,$$

після інтеграції

$$P_k = \frac{\pi}{4} \rho_m \omega^2 (R^2 - R_1^2)^2 , \text{ Н} \quad (4.12)$$

Сила, яка діє (вниз) на дно форми

$$P_d = \int_0^R (\rho_m gh + 0,5 \rho_m \omega^2 r^2) \cdot 2\pi \cdot r dr ,$$

після інтеграції

$$P_d = \pi \rho_m R^2 (gh + 0,5 \omega^2 R^2) , \text{ Н} \quad (4.13)$$

Без урахування ваги елементів самої форми осьова складова сили, що діє на стіл машини, визначається як різниця рівнодіючих сил тиску на дно і кришку форми

$$P_c = P_d - P_k , \text{ Н} \quad (4.14)$$

Наведені розрахунки при  $\omega^2 r \gg g$  можливо приблизно розповсюдити і на відцентрові машини з горизонтальною віссю обертання.

### Зміст звіту

В звіті повинні бути відображені.

- 1 Назва і мета роботи.
- 2 Загальні теоретичні відомості.
- 3 Схеми відцентрового лиття і машини, типи машин.
- 4 Необхідні розрахунки по роботі.
- 5 Епюри тиску рідкого металу на стінки ливарної форми.
- 6 Висновки по роботі.

## Контрольні запитання для самоперевірки

- 1 Які переваги відцентрового лиття?
- 2 В чому сутність процесу відцентрового лиття?
- 3 Який вид вільної поверхні буде мати виливка при різному положенні осі обертання форми?
- 4 Як класифікуються відцентрові машини?
- 5 Яку номенклатуру виливків виготовляють на відцентрових машинах з вертикальною віссю обертання?
- 6 Яку номенклатуру виливків виготовляють на відцентрових машинах з горизонтальною віссю обертання?
- 7 Який устрій і принцип роботи відцентрової шпindelної машини з вертикальною віссю обертання?
- 8 В яких межах знаходиться швидкість обертання форми і відносне переміщення жолоба і ротора при відцентровому литті?

## Рекомендована література

1. Спеціальні та особливі види лиття: навч. посіб. / Кочешков А.С., Ямшинський М.М., Лютий Р.В., Лук'яненко І.В. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 53 с.
2. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посіб. / А.М. Верховлюк, А.В. Нарівський, В.Г. Могила-латенко; за ред. акад. НАН України В.Л. Найдека; НАН України, Фізико-технол. інститут металів та сплавів. Київ: Вініченко, 2016. 223 с.
3. Писаренко Г.С. Довідник з опору матеріалів / Г.С. Писаренко, О.П. Яковлев, В.В. Матвеев. 2-ге вид., перероб. та доп. Київ: Наук. думка, 1988. 736 с.
4. Конспект лекцій з дисципліни «Устаткування та проектування ливарних цехів». Розділ 1. «Устаткування загального призначення» для студентів напряму Ливарне виробництво / Укл.: С.А. Стороженко. Кам'янське: ДДТУ, 2017. 48 с.
5. Відео роботи відцентрових машин на YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=OfROXyqkWWA>

## Додаток А

Технічні характеристики машин лиття під тиском  
з горизонтальною холодною камерою пресування EN 869: 2016

Параметр	71106	71107	71108	71109	71110	71111	71112	71113	71114	71115
Зусилля запирання, кН ( $N_{\text{зап}}$ )	1000	1600	2500	4000	6300	8000	10000	12500	16000	20000
Зусилля пресування, кН ( $N_{\text{пр}}$ )	132	200	300	450	670	800	950	1200	1500	1900
Найбільша вага рідкого металу, що заливається, кг (для алюмінієвих сплавів) ( $M_{\text{вил}}$ )	1,25	2,1	3,6	6,0	10	13	18	24	32	42
Зусилля виштовхування, кН	80	112	150	200	265	315	375	450	530	630
Відстань між колонами в світлі, мм	380	450	530	630	750	850	950	1060	1180	1320
Товщина прес-форми, мм мінімальна	190	220	260	320	380	420	480	530	600	670
максимальна	420	500	600	710	850	950	1060	1180	1320	1500
Хід рухомої плити, мм	320	380	450	530	630	710	800	900	1000	1120
Вага рухомої плити, Н ( $Q_{\text{пл}}$ )	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000	55000	60000	65000
Встановлена потужність електродвигуна, кВт	11,5	22,8	23,4	25,2	40	44	55	60	80	100
Вага, т	4,6	8,5	10,5	19	30	45	53	70	85	110

## Додаток Б

Характеристики ланок важільного механізму запирання і колон машин лиття під тиском  
з горизонтальною холодною камерою пресування EN 869: 2016

Параметр	Позначення	71106	71107	71108	71109	71110	71111	71112	71113	71114	71115
Довжини ланок, м	$l_{1-1}$	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,80
	$l_{1-2}$	0,075	0,10	0,15	0,20	0,25	0,275	0,30	0,325	0,35	0,40
	$l_{2-3}$	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48
	$l_{2-4}$	0,08	0,12	0,16	0,2	0,24	0,28	0,32	0,36	0,40	0,44
	$l_{3-4}$	0,2	0,25	0,30	0,35	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70
Площа поперечного перетину ланок, м <sup>2</sup>	$F_{3-4}$	0,0168	0,0192	0,0216	0,0240	0,0264	0,0288	0,0312	0,0336	0,0360	0,0384
	$F_{4-5}$	0,0245	0,028	0,0315	0,035	0,0385	0,042	0,0455	0,049	0,0525	0,056
Розміри, м	$A$	0,50	0,65	0,80	0,950	1,15	1,30	1,45	1,60	1,75	1,90
	$B$	0,25	0,325	0,40	0,475	0,575	0,65	0,725	0,80	0,875	0,95
Довжина колон по ділянках, м	$l_1$	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35
	$l_2$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
	$l_3$	1,60	1,80	2,0	2,20	2,40	2,60	2,80	3,0	3,20	3,40
Діаметр колон по ділянках, м	$d_1$	0,09	0,10	0,11	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
	$d_2$	0,08	0,09	0,10	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,21	0,23
	$d_3$	0,105	0,115	0,125	0,135	0,155	0,175	0,195	0,215	0,235	0,255